

Part III

Composició de grups algals en estanys d'alta muntanya a partir de pigments marcadors i la seva relació amb gradients ambientals

Introducció

La composició de les comunitats de fitoplàncton i les abundàncies relatives de les espècies que les constitueixen experimenten canvis continuats a diverses escales (Reynolds, 1984). L'estudi de les distribucions espacials i temporals del fitoplàncton en relació a determinades variables ambientals és de molt interès per entendre les respostes d'aquestes comunitats als gradients ambientals. Per copsar la influència de gradients ambientals amplis són necessaris estudis d'abast regional amb estanys distribuïts en un ampli rang pel que fa a característiques morfològiques, hidrològiques i d'estat tròfic. Aquest tipus d'estudis generen un nombre elevat de mostres per a ser examinades al microscopi. Els sistemes oligotròfics com els que es poden trobar als estanys dels Pirineus, suporten una biomassa fitoplanctònica baixa amb una diversitat d'espècies reduïda, on hi predominen nanoflagel·lats que pertanyen sobretot a crisòfits i criptòfits o picoplàncton de cianobacteris i cloròfits (p.e. Pick i Caron, 1987; Willén *et al.*, 1990). Les cèl·lules fitoplanctòniques de mida petita que s'hi poden trobar (<5 µm) són identificades amb dificultat per microscòpia. La cromatografia líquida d'alta resolució (HPLC) aplicada a l'anàlisi de pigments s'ha perfilat com la tècnica analítica que pot complementar la informació obtinguda amb la microscòpia. Si es compara amb la microscòpia, l'anàlisi de pigments per HPLC permet processar un nombre elevat de mostres i ofereix major reproduïbilitat i sensibilitat degut a què es pot examinar un volum més gran de mostra, de l'ordre de litres. L'anàlisi de la composició de pigments si bé no permet arribar a nivell d'espècie sí que permet mesurar de manera força acurada la contribució dels diferents grups algals a la comunitat fitoplanctònica.

Els estanys d'alta muntanya presenten el màxim de producció d'estiu en fondària. Aquest tipus de distribució és característica dels estanys transparents i s'atenua a mesura que l'estabilitat tèrmica de l'estany disminueix (Nauwerck, 1966; Rodhe *et al.*, 1966; Pechlaner, 1967). A aquella fondària on penetra entre un 1 i un 10 % de la irradiància subsuperficial, és on se situa l'òptim fotosintètic i és on es troba un màxim en la concentració de clorofil·la a (Chl-a) (deep chlorophyll maximum; DCM) (p.e. Pechlaner,

1971; Capblancq, 1972; Fee, 1976; Rott, 1988; Catalan i Camarero, 1991). El DCM representa també un màxim de biomassa i sovint constitueix una proporció substancial de la biomassa de fotòtrofs de l'estany (Felip i Catalan, 2000). Normalment, el màxim de producció i el de biomassa difereixen en uns metres, situant-se el de biomassa per sota del de producció.

L'objectiu de l'estudi era en primer lloc caracteritzar la distribució de grups algal al voltant del màxim profund de clorofil·la en un conjunt d'estanys representatius dels estanys d'alta muntanya que es troben als Pirineus. La interpretació de les dades obtingudes a partir de l'anàlisi de pigments no és directa perquè alguns pigments són indicadors de més d'un grup algal (Rowan, 1989). Per aquest motiu, per tal d'estimar la contribució de cada grup algal a la població de fitoplàncton es va aplicar el programa CHEMTAX (Mackey *et al.*, 1996). Aquest programa utilitza la relació que existeix entre un pigment indicador de grup i la Chl-a en aquell grup assumint que la relació es manté constant en el conjunt de mostres objecte d'estudi. La diversitat d'estanys mostrejats feia necessari avaluar la constància en el valor de la relació. Podia donar-se el cas que les diferències entre estanys en el percentatge d'irradiància que arribava a la fondària de mostreig tingués influència en l'estima de la composició de grups i, llavors, calgués subdividir el conjunt de mostres en subconjunts i ser tractats de manera independent amb el programa CHEMTAX. Un segon objectiu era esbrinar quines variables ambientals eren més informatives sobre la composició taxonòmica de grups en el conjunt d'estanys mostrejats.

Metodologia

Descripció de l'àrea d'estudi i protocol de mostreig

Des del 9 de juliol fins el 10 d'agost del 2000, es varen mostrejar 82 estanys (Figura 4.1 i Taula 4.1) distribuïts al llarg de l'eix pirinenc (-0.71°E - 2.46°E) i en els dos vessants d'aquest (42.88°N - 42.53°N), en el marc del projecte europeu EMERGE (European Mountain lake Ecosystem: Regionalisation, diaGnostics and socio-economic Evaluation, EVK1-CT-1999-00032). Els Pirineus eren un dels 12 districtes lacustres que formaven part del projecte, els 82 estanys es van seleccionar seguint criteris de representativitat del conjunt d'estanys del districte pel que fa a distribució en altitud i geologia de la conca. Als Pirineus es van mostrejar estanys amb àrea sempre superior a 0.5 ha (0.53-53.2 ha) situats entre 1620 i 2990 m sobre el nivell del mar (Taula 4.1), en un ampli rang de morfometries i substrat litològic.

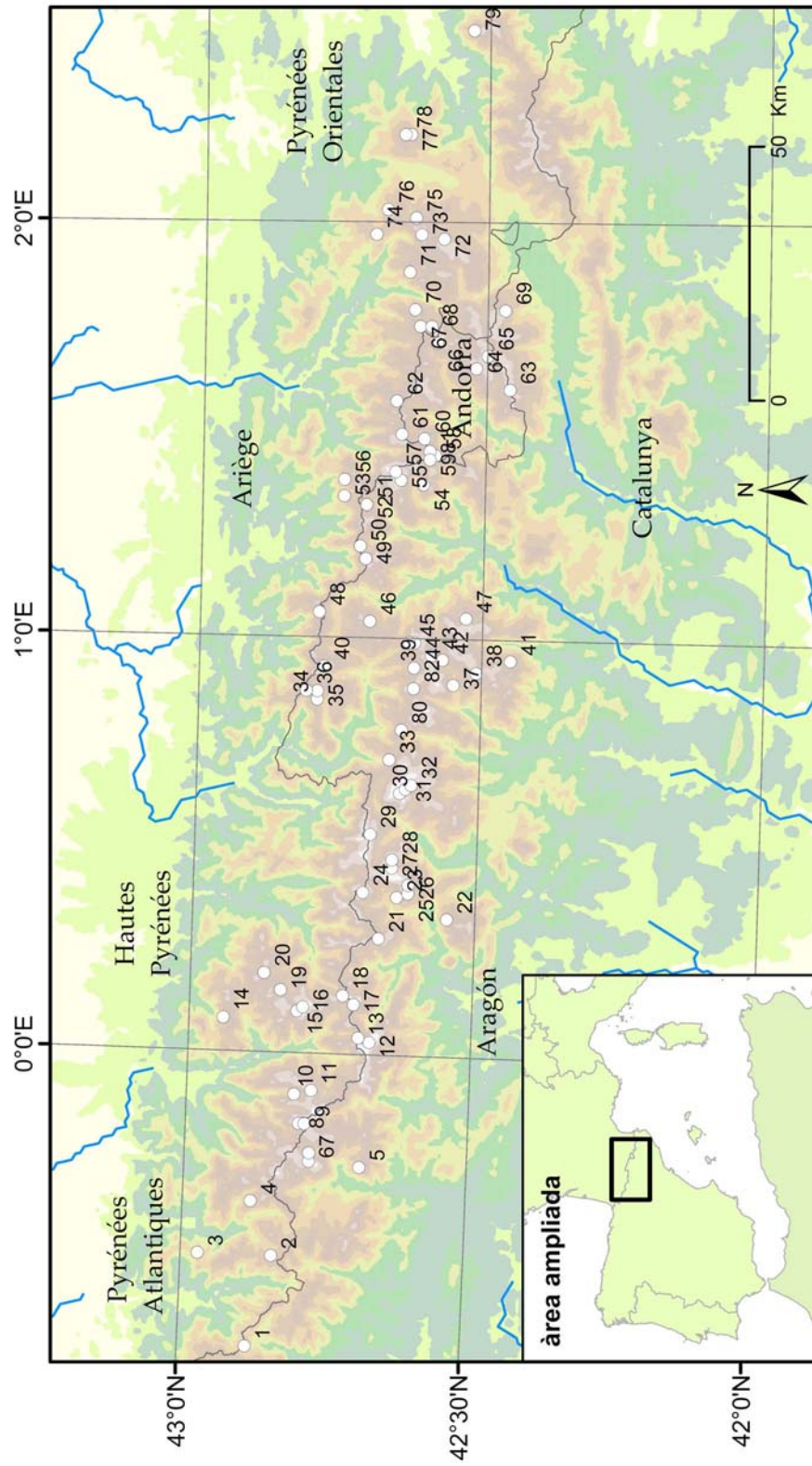


Figura 4.1. Situació geogràfica dels 82 estanys inclosos en l'estudi.

Taula 4.1. Estanys inclosos en l'estudi. Coordenades geogràfiques i paràmetres morfomètrics que els caracteritzen.

| # Codi | Prefix | Nom oficial | Latitud N | Longitud E | Altitud (m) | Àrea (ha) | Fondària (m) | Àrea conca (ha) | |
|--------|--------|-------------|--------------------------|------------|-------------|-----------|--------------|-----------------|---------|
| 1 | PY0001 | Ibón | Acherito | 42.88 | -0.71 | 1875 | 5.69 | 20 | 56.86 |
| 2 | PY0008 | Lac | Bersau | 42.84 | -0.49 | 2077 | 12.33 | 35 | 61.45 |
| 3 | PY0013 | Étang | Montagnon | 42.97 | -0.49 | 2003 | 1.18 | 4.8 | 12.61 |
| 4 | PY0044 | Étang | Ormiélas | 42.88 | -0.36 | 1974 | 2.75 | 9 | 110.67 |
| 5 | PY0074 | Ibón | Asnos | 42.69 | -0.27 | 2060 | 6.77 | 6.8 | 121.59 |
| 6 | PY0080 | Ibón | Pondiellos sup. | 42.78 | -0.26 | 2745 | 4.74 | 10 | 63.06 |
| 7 | PY0089 | Ibón | Amales | 42.78 | -0.24 | 2305 | 2.69 | 6.5 | 93.54 |
| 8 | PY0154 | Étang | Arratille | 42.80 | -0.17 | 2247 | 5.79 | 9 | 296.43 |
| 9 | PY0155 | Étang | Col d'Arratille | 42.79 | -0.17 | 2501 | 2.28 | 17 | 33.33 |
| 10 | PY0165 | Étang | Estom | 42.81 | -0.10 | 1804 | 6.16 | 20 | 1145.03 |
| 11 | PY0172 | Étang | Glacé | 42.78 | -0.09 | 2571 | 6.24 | 23 | 77.61 |
| 12 | PY0192 | Ibón | Helado del Monte Perdido | 42.68 | 0.03 | 2990 | 0.24 | 4.8 | 11.02 |
| 13 | PY0194 | Ibón | Helado de Marboré | 42.70 | 0.04 | 2592 | 14.64 | 31 | 95.72 |
| 14 | PY0201 | Lac | Bleu | 42.94 | 0.08 | 1950 | 53.19 | 123 | 389.22 |
| 15 | PY0209 | Lac | Tourrat | 42.81 | 0.10 | 2636 | 9.04 | 23 | 116.12 |
| 16 | PY0223 | Gourg | Cap Long | 42.80 | 0.11 | 2845 | 1.55 | 2.1 | 46.82 |
| 17 | PY0228 | Ibón | La Munia Sup. | 42.71 | 0.12 | 2537 | 2.29 | 8.5 | 108.97 |
| 18 | PY0237 | Lac | Barroude Inf. | 42.73 | 0.14 | 2377 | 9.75 | 9.5 | 97.77 |
| 19 | PY0243 | Étang | Les Laquettes 1 | 42.84 | 0.15 | 2085 | 6.65 | 10 | 139.04 |
| 20 | PY0265 | Étang | Port Bielh | 42.87 | 0.19 | 2290 | 15.62 | 14 | 172.43 |
| 21 | PY0291 | Ibón | Urdiceto | 42.67 | 0.28 | 2378 | 30.21 | 24 | 105.14 |
| 22 | PY0294 | Ibón | Basa de la Mora | 42.55 | 0.33 | 1908 | 5.49 | 2.4 | 461.78 |
| 23 | PY0299 | Ibón | Pixón | 42.64 | 0.38 | 2199 | 2.32 | 13.5 | 169.10 |
| 24 | PY0304 | Ibón | Bachimala Sup. | 42.70 | 0.39 | 2630 | 2.83 | 12 | 131.30 |
| 25 | PY0305 | Ibón | Sen | 42.62 | 0.39 | 2360 | 8.54 | 39 | 104.26 |
| 26 | PY0309 | Ibón | Chelau Sup. | 42.62 | 0.41 | 2805 | 0.89 | 16 | 11.76 |
| 27 | PY0323 | Ibón | Posets | 42.65 | 0.45 | 2550 | 5.88 | 33 | 97.71 |

Taula 4.1. Continuació.

| # Codi | Prefix | Nom oficial | Latitud N | Longitud E | Altitud (m) | Àrea (ha) | Fondària (m) | Àrea conca (ha) |
|--------|--------|-------------|-----------|------------|-------------|-----------|--------------|-----------------|
| 28 | PY0338 | Ibón | 42.65 | 0.47 | 2411 | 3.77 | 21 | 539.83 |
| 29 | PY0363 | Ibón | 42.69 | 0.53 | 2734 | 10.60 | 44 | 174.31 |
| 30 | PY0378 | Ibón | 42.64 | 0.63 | 2640 | 44.65 | 100 | 340.31 |
| 31 | PY0383 | Ibón | 42.63 | 0.64 | 2740 | 5.13 | | 194.38 |
| 32 | PY0390 | Ibón | 42.62 | 0.65 | 2480 | 4.20 | 32 | 334.18 |
| 33 | PY0413 | Estanhet | 42.66 | 0.71 | 2056 | 3.92 | 19.5 | 151.31 |
| 34 | PY0449 | Estanh | 42.79 | 0.85 | 2280 | 4.02 | 24 | 76.61 |
| 35 | PY0461 | Estanh | 42.79 | 0.87 | 2308 | 4.94 | 10 | 68.93 |
| 36 | PY0469 | Estanh | 42.81 | 0.87 | 2140 | 27.08 | 32 | 176.76 |
| 37 | PY0477 | Estany | 42.55 | 0.89 | 1620 | 8.00 | 11.5 | 5437.93 |
| 38 | PY0499 | Estany | 42.51 | 0.92 | 2493 | 9.25 | 38 | 114.57 |
| 39 | PY0519 | Estanh | 42.62 | 0.93 | 2188 | 4.95 | 11 | 23.01 |
| 40 | PY0520 | Estanh | 42.78 | 0.93 | 2375 | 11.25 | 16.5 | 122.70 |
| 41 | PY0549 | Estany | 42.45 | 0.95 | 2140 | 1.37 | 5.5 | 147.62 |
| 42 | PY0553 | Estany | 42.57 | 0.95 | 2000 | 7.12 | 12.5 | 1111.29 |
| 43 | PY0569 | Estany | 42.59 | 0.96 | 2493 | 1.35 | 8.5 | 23.84 |
| 44 | PY0605 | Estany | 42.62 | 0.99 | 2452 | 2.07 | 18 | 32.32 |
| 45 | PY0609 | Estany | 42.63 | 0.99 | 2170 | 14.88 | 63 | 388.39 |
| 46 | PY0663 | Estany | 42.70 | 1.04 | 2210 | 18.90 | 42 | 175.43 |
| 47 | PY0665 | Estany | 42.53 | 1.05 | 2450 | 5.43 | 21 | 95.35 |
| 48 | PY0672 | Étang | 42.79 | 1.06 | 1929 | 7.44 | 34 | 97.80 |
| 49 | PY0695 | Estany | 42.71 | 1.19 | 2270 | 4.62 | 19 | 249.41 |
| 50 | PY0705 | Estany | 42.72 | 1.22 | 2276 | 17.80 | 46 | 121.60 |
| 51 | PY0722 | Estany | 42.71 | 1.32 | 2130 | 5.87 | 12 | 200.82 |
| 52 | PY0723 | Estany | 42.71 | 1.32 | 2110 | 11.88 | 40 | 259.79 |
| 53 | PY0730 | Étang | 42.75 | 1.34 | 2094 | 8.19 | 48 | 71.91 |
| 54 | PY0743 | Estany | 42.61 | 1.37 | 2370 | 3.44 | 15.5 | 82.28 |

Taula 4.1. Continuació.

| # Codi | Prefix | Nom oficial | Latitud N | Longitud E | Altitud (m) | Àrea (ha) | Fondària (m) | Àrea conca (ha) |
|--------|--------|-------------------------------|-----------|------------|-------------|-----------|--------------|-----------------|
| 55 | PY0751 | Estany | 42.65 | 1.38 | 2346 | 5.68 | 10 | 463.36 |
| 56 | PY0752 | Étang | 42.75 | 1.38 | 1683 | 15.10 | 28 | 424.93 |
| 57 | PY0759 | Estanyet de la Pica | 42.66 | 1.40 | 2880 | 0.63 | 8.6 | 19.07 |
| 58 | PY0785 | Estany Negre | 42.59 | 1.44 | 2627 | 1.55 | 16 | 44.20 |
| 59 | PY0790 | Estany Forcat Inf. | 42.60 | 1.45 | 2631 | 1.89 | 28 | 38.63 |
| 60 | PY0800 | Estany Angonella de Mes Amunt | 42.61 | 1.48 | 2440 | 1.87 | 5.6 | 107.38 |
| 61 | PY0805 | Estany Mes amunt de Tristaina | 42.65 | 1.49 | 2300 | 12.32 | 24 | 158.25 |
| 62 | PY0831 | Étang Blaou | 42.66 | 1.57 | 2350 | 16.77 | 60 | 100.73 |
| 63 | PY0839 | Estany Gran de la Pera | 42.46 | 1.60 | 2350 | 2.60 | 6.3 | 137.32 |
| 64 | PY0867 | Estany Ensangents Sup. | 42.52 | 1.65 | 2550 | 2.60 | 7.8 | 71.49 |
| 65 | PY0893 | Estany Montmalús | 42.50 | 1.68 | 2440 | 10.74 | 21 | 181.16 |
| 66 | PY0910 | Estany Canals Roges | 42.59 | 1.71 | 2410 | 1.53 | 6.2 | 96.15 |
| 67 | PY0929 | Étang Albe | 42.62 | 1.75 | 2355 | 6.91 | 19 | 74.25 |
| 68 | PY0931 | Étang Siscar | 42.60 | 1.75 | 2187 | 4.17 | 3.9 | 358.00 |
| 69 | PY0953 | Estany Malhiu | 42.47 | 1.79 | 2250 | 5.46 | 13.5 | 128.21 |
| 70 | PY0956 | Étang Compte | 42.63 | 1.79 | 1726 | 3.41 | 4.6 | 1047.02 |
| 71 | PY0968 | Étang Aygue Longue | 42.64 | 1.88 | 2076 | 6.61 | 13.5 | 56.08 |
| 72 | PY1002 | Estany Trebens | 42.58 | 1.96 | 2306 | 5.79 | 14 | 285.06 |
| 73 | PY1005 | Estany Blau | 42.62 | 1.97 | 2531 | 4.38 | 29 | 30.55 |
| 74 | PY1012 | Étang Bleu de Rabassoles | 42.70 | 1.97 | 1920 | 4.42 | 7 | 45.79 |
| 75 | PY1039 | Estany Gros de Camporrells | 42.63 | 2.01 | 2255 | 4.80 | 17 | 361.74 |
| 76 | PY1047 | Étang Laurenti | 42.68 | 2.03 | 1936 | 6.61 | 18.5 | 263.97 |
| 77 | PY1058 | Gorg Negre | 42.64 | 2.21 | 2083 | 4.53 | 17.5 | 79.78 |
| 78 | PY1059 | Gorg Estelat | 42.65 | 2.21 | 2021 | 4.60 | 3.8 | 149.66 |
| 79 | PY1062 | Étang L'Estagnol | 42.53 | 2.46 | 2164 | 0.53 | 0.7 | 6.96 |
| 80 | PY0423 | Estanh Redon | 42.64 | 0.78 | 2235 | 24.15 | 73 | 152.79 |
| 81 | PY0779 | Estany Baiau Superior | 42.60 | 1.43 | 2480 | 7.95 | 22 | 111.57 |
| 82 | PY0463 | Estany Monges | 42.62 | 0.88 | 2418 | 14.71 | 51 | 110.44 |

La química de les aigües en els estanys d'alta muntanya reflecteix principalment la deposició atmosfèrica i la meteorització de les roques de la conca (Schnoor i Stumm, 1986). La relació entre la química de l'aigua i el tipus de roca de la conca ja havia estat estudiada als Pirineus (Catalan *et al.*, 1993), de manera que utilitzar la geologia de la conca com a criteri de selecció dels estanys permetia disposar d'estanys distribuïts en un ampli rang de característiques químiques. La meitat dels estanys inclosos en l'estudi es troben assentats sobre substrat granític (roques plutòniques), mentre la resta es distribueix entre aquells situats en conques on predominen les roques metamòrfiques, detrítiques o carbonàtiques (Figura 4.2).

Es tracta d'estanys força joves ja que deuen el seu origen, o com a mínim han estat retocats, per l'acció del glaciariisme quaternari de manera que la colonització de les seves aigües s'ha d'haver produït en el transcurs dels darrers 15000 anys.

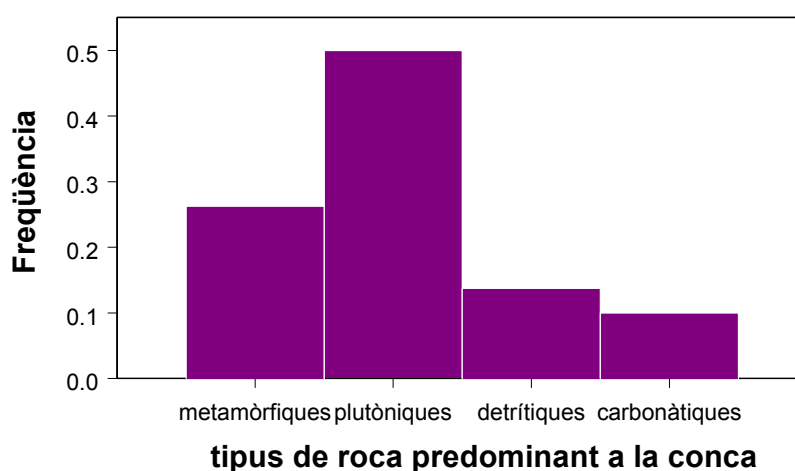


Figura 4.2. Freqüència amb la que trobem distribuïda la geologia predominant en les conques on se situen els 82 estanys inclosos en l'estudi.

La mostra d'aigua de la columna representativa del màxim profund de clorofil·la es va prendre des del punt en què l'estany era més profund, a una fondària de 1.5 vegades la fondària de visió del disc de Secchi, utilitzant un tub de plàstic connectat a un matrau de filtració i aquest a una bomba de buit manual. En aquells estanys en què la fondària de visió del disc de Secchi arribava al fons (29 estanys) la mostra es va agafar entre 1 i 2 m per sobre el sediment. A partir d'aquesta mostra es filtrava un volum d'aigua conegut (entre 1.5 i 2 litres) utilitzant una bomba de buit manual i filtres GF/F (47 mm de diàmetre), i es guardava el filtre embolicat en paper de plata dins una nevera (unes poques hores) fins arribar al campament on es col·locava dins un congelador fins el moment de ser analitzat al laboratori (entre un i dos mesos més tard).

Caracterització del medi físic

Les variables que permetien caracteritzar l'ambient dins la pròpia massa d'aigua eren: la fondària de visió del disc de Secchi (Z_{SD} ; m) i l'existència o no d'estratificació en la columna d'aigua. La primera permetia el càlcul del coeficient d'extinció de la llum en la columna d'aigua (k , m^{-1}) utilitzat per estimar el percentatge d'irradiància subsuperficial incident a la fondària de mostreig ($I_0(Z_S)$; %). La segona és una variable derivada dels perfils de temperatura que permetia classificar els estanys en aquells que presentaven una termoclina clara, els que presentaven un gradient de temperatura sense una clara termoclina i els que es trobaven barrejats (Taula 4.2). La variable Z_{termo} es refereix a la fondària a la que arribava la capa barrejada.

El percentatge de la irradiància subsuperficial que arribava a la fondària de mostreig en els estanys en els que el disc de Secchi arribava al fons, era superior que en la resta d'estanys. En aquests estanys no es podia calcular el coeficient d'extinció i , per tant, tampoc la irradiància en la fondària de mostreig. De tota manera sí que es podia saber que el percentatge d'irradiància subsuperficial que hi arribava era $> 18\%$, percentatge que li correspon a la fondària de visió del disc de Secchi (segons l'equació del capítol 3) (Taula 4.2).

Anàlisi de pigments

Els pigments es van extreure del filtre utilitzant 5 mL d'acetona 90% i sonicant la mostra durant 2 minuts. L'extracte així obtingut es feia passar a través d'un filtre de membrana Whatman ANODISC 0.1 μm de porus i s'analitzava per HPLC (sistema cromatogràfic capítol 1) amb una columna C-18 (Spherisorb ODS-1, 250 x 4.6 mm, 5 μm mida de partícula). El detector es fixava a 440 nm per integrar els pics que corresponien a pigments carotenoides i a 660 nm per integrar els que corresponien a pigments clorofil·lics. De cada pic s'obtenia l'espectre d'absorció en el rang entre 300 i 800 nm. La separació analítica s'aconseguia per gradient lineal (1.2 mL min^{-1} , flux constant) utilitzant una modificació del mètode descrit per Kraay *et al.* (1992). Després d'injectar la mostra a l'HPLC (80 μL) els pigments s'elueïen per gradient lineal desde 100% de A (MeOH:ACN: acetat d'amoni 2.3 M en aigua MilliQ; 51:36:13); a 75% de A en 5 min seguit d'una espera de 5 min a 75% de A per passar a 100% de B (EtilAcet:ACN; 70:30) en 20 min. La composició de la fase mòbil era retornada a les condicions inicials seguint un gradient de 5 min. Entre mostra i mostra el sistema s'equilibrava de nou després de 5 min més. La identificació dels pics resolts en els cromatogrames es va realitzar per comparació del temps de retenció i de característiques espectrals amb el catàleg de pigments obtingut a partir de l'anàlisi dels extractes de cultius monoespecífics de la Culture Collection of Algae and Protozoa (CCAP) (The Windermere Laboratory, UK) i d'estàndards de Chl-a, Chl-b i β, β -carotè (Sigma Chemical Co. Ltd., UK). Els coeficients d'extinció utilitzats pels càlculs es troben a la taula 1.5 del capítol 1.

4. COMPOSICIÓ DE GRUPS ALGALS I RELACIÓ AMB GRADIENTS AMBIENTALS

Taula 4.2. Característiques dels estanys mostrejats: fondària màxima de l'estany (Z_{\max} ; m), fondària de visió del disc de Secchi (Z_{SD} ; m), fondària on se situava la termoclina (Z_{termo} ; m), fondària a la que es van prendre les mostres (Z_s ; m), temperatura mesurada a Z_s ($T(Z_s)$; °C), coeficient d'extinció de la llum dins la columna d'aigua (K ; m^{-1}), percentatge de la llum incident en superfície que arribava a la fondària de mostreig ($I_0(Z_s)$; %). També hi són indicats els estanys on el disc de Secchi va tocar fons i aquells que es troben barrejats (bar) o que presenten un gradient de temperatura (grad).

| # Codi estany | Nom estany | Z_{\max} (m) | Z_{SD} (m) | Z_{termo} (m) | Z_s (m) | $T(Z_s)$ (°C) | K (m^{-1}) | $I_0(Z_s)$ (%) |
|---------------|--------------------------|-------------------|-----------------|---------------------------|--------------|------------------|----------------------------|-------------------|
| 1 PY0001 | Acherito | 20 | 6 | 6.5 | 9 | 9.7 | 0.28 | 8 |
| 2 PY0008 | Bersau | 35 | 11.4 | 8.5 | 17.6 | 4.5 | 0.15 | 7 |
| 3 PY0013 | Montagnon | 4.8 | 1.2 | 0.5 | 2 | 8.7 | 1.48 | 5 |
| 4 PY0044 | Ormiélas | 9 | fons | 3.5 | 7 | 6.3 | - | >18 |
| 5 PY0074 | Asnos | 6.8 | fons | bar | 5.8 | 15.8 | - | >18 |
| 6 PY0080 | Pondiellos sup. | 10 | fons | bar | 8.5 | 3.3 | - | >18 |
| 7 PY0089 | Arnales | 6.5 | fons | bar | 5.5 | 10.5 | - | >18 |
| 8 PY0154 | Arratille | 9 | fons | 1.5 | 7 | 11.2 | - | >18 |
| 9 PY0155 | Col d'Arratille | 17 | 11.2 | 1.5 | 14 | 6 | 0.15 | 12 |
| 10 PY0165 | Estom | 20 | 17.5 | grad | 16 | 6.7 | 0.10 | 21 |
| 11 PY0172 | Glacé | 23 | 8.5 | 2.27 | 13 | 4.5 | 0.20 | 7 |
| 12 PY0192 | Helado del Monte Perdido | 4.8 | fons | bar | 4 | 4.5 | - | >18 |
| 13 PY0194 | Helado de Marboré | 31 | 3 | 2.5 | 4.5 | 7.6 | 0.57 | 8 |
| 14 PY0201 | Bleu | 123 | 19.5 | grad | 27 | 4 | 0.09 | 10 |
| 15 PY0209 | Tourrat | 23 | 3.2 | 4.5 | 4.8 | 9 | 0.53 | 8 |
| 16 PY0223 | Cap Long | 2.1 | fons | bar | 1.8 | 9.3 | - | >18 |
| 17 PY0228 | La Munia Sup. | 8.5 | fons | grad | 7 | 8.6 | - | >18 |
| 18 PY0237 | Barroude Inf. | 9.5 | 9 | 2.5 | 8.5 | 10.2 | 0.19 | 20 |
| 19 PY0243 | Les Laquettes 1 | 10 | fons | grad | 8 | 13.8 | - | >18 |
| 20 PY0265 | Port Bielh | 14 | fons | grad | 12 | 13.2 | - | >18 |
| 21 PY0291 | Urdiceto | 24 | 11.4 | 9.5 | 17 | 5.8 | 0.15 | 8 |
| 22 PY0294 | Basa de la Mora | 2.4 | fons | bar | 1 | 16.9 | - | >18 |
| 23 PY0299 | Pixón | 13.5 | fons | 6.5 | 12.5 | 9.2 | - | >18 |
| 24 PY0304 | Bachimala Sup. | 12 | fons | 3.5 | 11 | 5 | - | >18 |
| 25 PY0305 | Sen | 39 | 15.5 | 8.5 | 23.3 | 4.9 | 0.11 | 8 |
| 26 PY0309 | Chelau Sup. | 16 | 8.1 | 4.5 | 12 | 4.7 | 0.21 | 8 |
| 27 PY0323 | Posets | 33 | 13.3 | 9.5 | 20 | 4.5 | 0.13 | 8 |
| 28 PY0338 | Eriste | 21 | 13.2 | 9.5 | 20 | 5 | 0.13 | 8 |
| 29 PY0363 | Lliterola | 44 | 7.7 | bar | 11.5 | 3.6 | 0.22 | 8 |
| 30 PY0378 | Cregüeña | 100 | 21 | 4.5 | 30 | 5 | 0.08 | 9 |
| 31 PY0383 | Coronas | 15.2 | 6 | 1.5 | 9 | 4.5 | 0.28 | 8 |
| 32 PY0390 | Llosás | 32 | 11.7 | grad | 17.5 | 4.8 | 0.15 | 8 |
| 33 PY0413 | Puis | 19.5 | 9.3 | 5.5 | 14 | 4.8 | 0.18 | 8 |
| 34 PY0449 | Nere de Güèrri | 24 | 13.3 | grad | 20 | 5 | 0.13 | 8 |
| 35 PY0461 | Pica Palòmera | 10 | fons | 0.5 | 9 | 10.7 | - | >18 |

EL SENYAL DE PIGMENTS A ESCALA REGIONAL

Taula 4.2. Continuació.

| # Codi estany | Nom estany | Z _{max} (m) | Z _{SD} (m) | Z _{termo} (m) | Z _s (m) | T(Z _s) (°C) | K (m ⁻¹) | I ₀ (Z _s) (%) |
|---------------|------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|---|
| 36 PY0469 | Long de Liat | 32 | 9.8 | 8.5 | 14.6 | 4.8 | 0.17 | 8 |
| 37 PY0477 | Llebreta | 11.5 | 8.2 | grad | 10 | 10.6 | 0.21 | 13 |
| 38 PY0499 | Gran del Pessó | 38 | 7.7 | 5.5 | 11.5 | 6.5 | 0.22 | 8 |
| 39 PY0519 | Plan | 11 | fons | grad | 10 | 12.5 | - | >18 |
| 40 PY0520 | Montoliu | 16.5 | 6.2 | 3.5 | 9.3 | 8.1 | 0.27 | 8 |
| 41 PY0549 | Filià | 5.5 | fons | 4.5 | 4 | 14.9 | - | >18 |
| 42 PY0553 | Llong | 12.5 | 9.3 | 7.5 | 11 | 7.8 | 0.18 | 13 |
| 43 PY0569 | Gelat Bergús | 8.5 | 6 | bar | 7 | 7.3 | 0.28 | 14 |
| 44 PY0605 | Illa | 18 | 13.2 | grad | 17 | 6.7 | 0.13 | 11 |
| 45 PY0609 | Gerber | 63 | 19.1 | grad | 28.7 | 4 | 0.09 | 8 |
| 46 PY0663 | Airoto | 42 | 19 | 2.5 | 28.5 | 4.5 | 0.09 | 8 |
| 47 PY0665 | Gran de Mainera | 21 | 7.7 | 5.5 | 11.5 | 5.5 | 0.22 | 8 |
| 48 PY0672 | Rond | 34 | 19.5 | 5.5 | 25 | 5.3 | 0.09 | 11 |
| 49 PY0695 | Inferior de la Gallina | 19 | 9 | 5.5 | 14.5 | 8.2 | 0.19 | 6 |
| 50 PY0705 | Mariola | 46 | 9.9 | 6.5 | 15 | 8 | 0.17 | 8 |
| 51 PY0722 | Senó | 12 | 10.3 | grad | 10.5 | 10.1 | 0.17 | 18 |
| 52 PY0723 | Romedo de Dalt | 40 | 16 | 6.5 | 24 | 8.2 | 0.11 | 8 |
| 53 PY0730 | Aubé | 48 | 8 | 8.5 | 12 | 9.2 | 0.21 | 8 |
| 54 PY0743 | Aixeus | 15.5 | fons | bar | 14 | 13.2 | - | >18 |
| 55 PY0751 | Sotllo | 10 | fons | bar | 8.5 | 11.1 | - | >18 |
| 56 PY0752 | Garbet | 28 | 8 | 6.5 | 12 | 11 | 0.21 | 8 |
| 57 PY0759 | Pica | 8.6 | fons | bar | 0* | 6 | - | 100 |
| 58 PY0785 | Negre | 16 | 13.3 | grad | 14 | 8.4 | 0.13 | 18 |
| 59 PY0790 | Forcat Inf. | 28 | 12 | grad | 18 | 8.7 | 0.14 | 8 |
| 60 PY0800 | Angonella de Mes Amunt | 5.6 | fons | grad | 4.5 | 12 | - | >18 |
| 61 PY0805 | Mes amunt de Tristaina | 24 | 17 | 10.5 | 22 | 9.2 | 0.10 | 11 |
| 62 PY0831 | Blaou | 60 | 19.2 | 12.5 | 25 | 7.4 | 0.09 | 11 |
| 63 PY0839 | Gran de la Pera | 6.3 | fons | 4.5 | 5 | 13.2 | - | >18 |
| 64 PY0867 | Ensagents Sup. | 7.8 | 7.1 | grad | 5.5 | 16.1 | 0.24 | 27 |
| 65 PY0893 | Montmalús | 21 | 8.9 | 8.5 | 13.5 | 9.8 | 0.19 | 8 |
| 66 PY0910 | Canals Roges | 6.2 | fons | 2.5 | 5.2 | 10.9 | - | >18 |
| 67 PY0929 | Albe | 19 | 11 | 3.5 | 15.5 | 10.2 | 0.15 | 9 |
| 68 PY0931 | Siscar | 3.9 | fons | grad | 3 | 17.5 | - | >18 |
| 69 PY0953 | Malniu | 13.5 | 5 | 4.5 | 11 | 10.2 | 0.34 | 2 |
| 70 PY0956 | Compte | 4.6 | fons | 1.5 | 3 | 15 | - | >18 |
| 71 PY0968 | Aygue Longue | 13.5 | fons | 5.5 | 12.5 | 9.1 | - | >18 |
| 72 PY1002 | Trebens | 14 | fons | grad | 13 | 13.2 | - | >18 |
| 73 PY1005 | Blau | 29 | 10 | grad | 15 | 10.9 | 0.17 | 8 |
| 74 PY1012 | Bleu de Rabassoles | 7 | 5.5 | grad | 4.5 | 17.8 | 0.31 | 25 |
| 75 PY1039 | Gros de Camporrells | 17 | 10 | 4.5 | 15 | 11.2 | 0.17 | 8 |

Taula 4.2. Continuació.

| # Codi estany | Nom estany | Z _{max} (m) | Z _{SD} (m) | Z _{termo} (m) | Z _s (m) | T(Z _s) (°C) | K (m ⁻¹) | I ₀ (Z _s) (%) |
|---------------|------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|---|
| 76 PY1047 | Laurenti | 18.5 | 10 | grad | 15 | 12.4 | 0.17 | 8 |
| 77 PY1058 | Negre | 17.5 | 4.6 | 3.5 | 6.8 | 15 | 0.37 | 8 |
| 78 PY1059 | Estelat | 3.8 | fons | bar | 2.6 | 17 | - | >18 |
| 79 PY1062 | L'Estagnol | 0.7 | fons | - | 0.4 | - | - | >18 |
| 80 PY0423 | Redon | 73 | 9.8 | 19.5 | 20 | 8 | 0.17 | 3 |
| 81 PY0779 | Baiiau | 22 | fons | 7.5 | 21 | 9.8 | - | >18 |
| 82 PY0463 | Monges | 51 | 11.5 | bar | 17.2 | 7.5 | 0.15 | 7.8 |

* es va agafar la mostra de superfície

Selecció dels pigments marcadors a introduir en les matrius del programa CHEMTAX

Per seleccionar els pigments indicadors de grup necessaris per aplicar el programa CHEMTAX era fonamental disposar d'informació qualitativa sobre els grups algal que es podien trobar en els estanys dels Pirineus. En el fitoplàncton dels estanys dels Pirineus predominen espècies petites flagel·lades o coccals (Catalan *et al.*, 1992). En general la mida cel·lular petita, la mobilitat i el fet que moltes de les espècies siguin potencialment mixòtrofes representa una adaptació a les característiques tròfiques que caracteritzen els estanys d'alta muntanya (Pechlaner, 1971; Tilzer i Schwarz, 1976; Holen i Boraas, 1996; Gervais, 1997). Els grups taxonòmics de fitoplàncton que podem trobar de manera freqüent cohabitant en aquest tipus d'estanys i que presenten diferent senyal pigmentària són sis: cloròfits, crisòfits, criptòfits, diatomees, dinoflagel·lades i cianobacteris (Margalef *et al.*, 1975; Catalan *et al.*, 1992; Felip *et al.*, 1999). També hi ha estat documentada la presència de bacteris fotosintètics (Capblancq, 1972) que poden créixer quan coexisteixen condicions d'anòxia i llum, el seu senyal però, llevat en casos excepcionals, queda reservat al sediment superficial degut a què els requeriments per créixer es donen amb més probabilitat en les capes pròximes al sediment.

En termes de composició de pigments, les crisofícies es diferencien de les sinurofícies per tenir Chl-c2 (Andersen i Mulkey, 1983), un dels motius pels què es van separar en una classe apart (Andersen, 1987). En aquest estudi però, no hem utilitzat la Chl-c2 com a indicadora de cap grup, de manera que mantindrem la terminologia de crisòfits per referir-nos a crisofícies i sinurofícies conjuntament. Per construir la matriu H_0 o matriu llavor del programa CHEMTAX, es van utilitzar entre 1 i 4 pigments indicadors per grup algal (Taula 4.3). El valor del quocient entre el pigment indicador de grup i la Chl-a de

grup es va obtenir de la matriu ajustada pel programa en el capítol 3, transformant els valors a quocients molars. Els valors dels quocients en diatomees i cianobacteris es van obtenir de la bibliografia (Soma *et al.*, 1993; Mackey *et al.*, 1996). Els bacteris fotosintètics del sofre van quedar al marge del tractament amb el CHEMTAX pel fet de presentar una clorofil·la diferent de la Chl-a i per tant no poder ser expressats en relació a aquesta amb el CHEMTAX.

Variables ambientals

Les variables ambientals mesurades es van agrupar en: variables descriptores de la química de l'aigua (n = 15), descriptores de l'hàbitat físic (n = 14), de l'hàbitat biòtic (n = 6), descriptores de la conca (26) i variables geogràfiques (n = 3) (Taula 4.4).

El percentatge de vegetació en les conques dels estanys es va determinar durant el treball de camp. Es varen realitzar perfils de temperatura de la columna d'aigua a cada estany utilitzant una sonda de temperatura. La fondària màxima dels estanys visitats es va mesurar utilitzant una ecosonda portàtil mentre que la resta de característiques morfològiques (àrea de l'estany, àrea de la conca) i fisiogràfiques (geologia de la conca) es van determinar amb posterioritat i de manera més precisa utilitzant informació cartogràfica i tècniques de GIS (Casals-Carrasco *et al.*, 2005). Les variables descriptores de la química de l'aigua es van mesurar seguint els mètodes descrits a Ventura *et al.* (2000) a partir d'una mostra d'aigua que s'havia pres a la sortida de cada estany.

Les relacions entre cada grup algal, expressat com a percentatge de Chl-a de grup, i les variables ambientals es van analitzar utilitzant l'anàlisi de redundàncies (RDA) (Ter Braak, 1994) amb el programa d'ordenació CANOCO (Ter Braak, 1988). L'anàlisi RDA assumeix que la relació entre la resposta de cada grup algal i els eixos d'ordenació segueix un model lineal i s'utilitza si la longitud del gradient en les dades és curt ($<4SD$). L'anàlisi permet extreure els eixos de més variabilitat en la composició de grups algals amb la restricció que aquests han de ser combinacions lineals de les variables ambientals mesurades. Els diagrames resultants proporcionen simultàniament una ordenació dels grups algals, els estanys i les variables ambientals. El valor propi d'un eix de la ordenació en un RDA és la proporció del total de variància explicada per aquell eix i indica la seva importància relativa.

4. COMPOSICIÓ DE GRUPS ALGALS I RELACIÓ AMB GRADIENTS AMBIENTALS

Taula 4.3. Quocients molars entre pigments marcadors i Chl-a en els diferents grups algals que es van utilitzar en la matriu d'entrada al programa (H_0) i els obtinguts en la matriu de sortida (H_m). Per cloròfits, crisòfits, criptòfits i dinoflagel·lades es van utilitzar els valors dels quocients ajustats en el capítol 3 (Taula 3.1) transformats a quocients molars. Per les diatomees i cianobacteris es van utilitzar valors bibliogràfics (Soma *et al.*, 1993; Mackey *et al.*, 1996) també transformats a quocients molars.

| QUOCIENTS MOLARS DE LA Matriu D'ENTRADA (H_0) | | | | | | | | | | | |
|---|--------------|----------------|--------------|-------------|---------|-----------------|------------|------------|--------------|------------|------|
| | AL-LOXANTINA | DIADINOXANTINA | DIATOXANTINA | FUCOXANTHIN | LUTEÏNA | MIXOXANTOFIL·LA | NEOXANTINA | PERIDININA | VIOLAXANTINA | ZEAXANTINA | CHLA |
| Cloròfits | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.253 | 0 | 0.046 | 0 | 0.037 | 0.024 | 1 |
| Crisòfits | 0 | 0 | 0 | 0.509 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.143 | 0 | 1 |
| Criptòfits | 0.576 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Diatomees | 0 | 0.598 | 0.063 | 1.045 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Dinoflagel·lades | 0 | 0.184 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.708 | 0 | 0 | 1 |
| Cianobacteris | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.105 | 0 | 0 | 0 | 0.369 | 1 |

| QUOCIENTS MOLARS DE LA Matriu DE SORTIDA (H_m) | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|----------------|--------------|-------------|---------|-----------------|------------|------------|--------------|------------|------|
| | AL-LOXANTINA | DIADINOXANTINA | DIATOXANTINA | FUCOXANTHIN | LUTEÏNA | MIXOXANTOFIL·LA | NEOXANTINA | PERIDININA | VIOLAXANTINA | ZEAXANTINA | CHLA |
| Cloròfits | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.253 | 0 | 0.046 | 0 | 0.037 | 0.024 | 1 |
| Crisòfits | 0 | 0 | 0 | 0.509 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.143 | 0 | 1 |
| Criptòfits | 0.576 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Diatomees | 0 | 0.249 | 0.082 | 1.045 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Dinoflagel·lades | 0 | 0.184 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.708 | 0 | 0 | 1 |
| Cianobacteris | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.105 | 0 | 0 | 0 | 0.369 | 1 |

N = 80

Taula 4.4. Variables ambientals mesurades en el context del projecte EMERGE.

| Nom de la variable (unitats) | Codi | Origen | Transformació |
|--|------------------------------------|-----------------|---------------------------|
| <i>Química de l'aigua</i> | | | |
| pH | pH | Sortida estany | NO |
| Conductivitat ($\mu\text{S cm}^{-1}$, 20°C) | Cond | Sortida estany | $\text{Log}_{10}(100x+1)$ |
| Amoni ($\mu\text{eq L}^{-1}$) | NH4 | Sortida estany | $\text{Log}_{10}(100x+1)$ |
| Calci ($\mu\text{eq L}^{-1}$) | Ca | Sortida estany | $\text{Log}_{10}(100x+1)$ |
| Magnesi ($\mu\text{eq L}^{-1}$) | Mg | Sortida estany | $\text{Log}_{10}(100x+1)$ |
| Sodi ($\mu\text{eq L}^{-1}$) | Na | Sortida estany | $\text{Log}_{10}(100x+1)$ |
| Potassi ($\mu\text{eq L}^{-1}$) | K | Sortida estany | $\text{Log}_{10}(100x+1)$ |
| Alcalinitat ($\mu\text{eq L}^{-1}$) | Alk | Sortida estany | $\text{Log}_{10}(100x+1)$ |
| Sulfats ($\mu\text{eq L}^{-1}$) | SO4 | Sortida estany | $\text{Log}_{10}(100x+1)$ |
| Nitrats ($\mu\text{eq L}^{-1}$) | NO3 | Sortida estany | $\text{Log}_{10}(100x+1)$ |
| Clorurs ($\mu\text{eq L}^{-1}$) | Cl | Sortida estany | $\text{Log}_{10}(100x+1)$ |
| Nitrogen total ($\mu\text{g L}^{-1}$) | TN | Sortida estany | $\text{Log}_{10}(100x+1)$ |
| Fòsfor total ($\mu\text{g L}^{-1}$) | TP | Sortida estany | $\text{Log}_{10}(100x+1)$ |
| Silici (mg L^{-1}) | Si | Sortida estany | $\text{Log}_{10}(100x+1)$ |
| Carboni orgànic dissolt total (mg L^{-1}) | DTOC | Sortida estany | $\text{Log}_{10}(100x+1)$ |
| <i>Descriptors de l'hàbitat físic</i> | | | |
| Àrea de l'estany (ha) | L_area | GIS/cartografia | NO |
| Fondària màxima de l'estany (m) | Depth | Mesura al camp | NO |
| Percentatge de litoral rocós (%) | Lit_Rock | Mesura al camp | NO |
| Percentatge de litoral sorrenc (%) | Lit_sand | Mesura al camp | NO |
| Percentatge de litoral orgànic (%) | Lit_Org | Mesura al camp | NO |
| Temps de residència de l'aigua (anys) | Resid | Estimat | NO |
| Durada de la coberta de gel (dies) | Icecover | Estimada | NO |
| Classe de temperatura (categòrica) | Temp | Estimada | NO |
| Presència/absència de termoclina (binària) | Termo | Mesura al camp | NO |
| Presència/absència de gradient (binària) | Grad | Mesura al camp | NO |
| Presència/absència de barreja (binària) | Mix | Mesura al camp | NO |
| Fondària de la mostra per pigments (m) | Zs | Mesura al camp | NO |
| Temperatura a Zs (°C) | T (Zs) | Mesura al camp | NO |
| Irradiància a Zs (%) | I ₀ (Zs) | Estimat*1 | NO |
| Irradiància a Z _{max} (%) | I ₀ (Z _{max}) | Estimat*1 | NO |
| <i>Variabls geogràfiques</i> | | | |
| Latitud (graus decimals) | Lat | Cartografia | NO |
| Longitud (graus decimals) | Lon | Cartografia | NO |
| Altitud (m) | Alt | Cartografia | NO |

4. COMPOSICIÓ DE GRUPS ALGALS I RELACIÓ AMB GRADIENTS AMBIENTALS

Taula 4.4. Continuació.

| Nom de la variable (unitats) | Codi | Origen | Transformació |
|--|----------------------------|------------------|----------------------------|
| <i>Descriptors de la conca</i> | | | |
| Àrea de la conca (ha) | C_area | GIS/cartografia | Log ₁₀ (100x) |
| Posició en la cadena d'estanys (categòrica) | Chain | GIS/cartografia | NO |
| Estany de capçalera (binària) | Headwat | GIS/cartografia | NO |
| Orientació de la conca (subdividida en 8 variables binàries) | N, S, E, W, NE, NW, SE, SW | GIS/cartografia | NO |
| Precipitació (mm any ⁻¹) | Ppt | Estimada | NO |
| <i>Geologia</i> | | | |
| Roca metamòrfica (%) | GeolMet | GIS/cartografia | NO |
| Roca plutònica (%) | GeolPlut | GIS/cartografia | NO |
| Roca detrítica (%) | GeolDet | GIS/cartografia | NO |
| Roca carbonàtica (%) | GeolCarb | GIS/cartografia | NO |
| Dipòsits glacials (%) | GeolGlac | GIS/cartografia | NO |
| <i>Recobriment del sòl</i> | | | |
| Glaceres (%) | Glaciers | GIS/teledetecció | NO |
| Roca mare (%) | Bare | GIS/teledetecció | NO |
| Ericàcies (%) | Moorland | GIS/teledetecció | NO |
| Torbes (%) | Peat | GIS/teledetecció | NO |
| Prats (%) | Meadow | GIS/teledetecció | NO |
| Matolls (%) | Shrubs | GIS/teledetecció | NO |
| Bosc de coníferes (%) | Con_wood | GIS/teledetecció | NO |
| Bosc de caducifolis (%) | Dec_wood | GIS/teledetecció | NO |
| Desenvolupament rural (%) | Rural | GIS/teledetecció | NO |
| <i>Descriptors de l'hàbitat biòtic</i> | | | |
| Matèria orgànica sediment superficial (%) | LOItop | Sediment | NO |
| Bacteris i biomassa filamentosa (µg C L ⁻¹) | Bacteria | Aigua x1.5 SD | Log ₁₀ (100x+1) |
| Presència/absència de peixos (binària) | Fish | Camp + info | NO |
| Número d'espècies de macròfits* ² | NspMac | Camp + info | NO |
| Macrozooplàncton* ³ (ind m ⁻³) | MZP | Pesca integrada | Log ₁₀ (100x+1) |
| Zooplànton* ⁴ (ind m ⁻³) | Zoo | Pesca integrada | Log ₁₀ (100x+1) |
| Rotífers (ind m ⁻³) | Rotífers | Pesca integrada | Log ₁₀ (100x+1) |

*¹ pels càlculs es va utilitzar el coeficient d'extinció (K ; m⁻¹) de la taula 4.2, en els estanys en què es va tocar fons amb el disc de Secchi es va utilitzar el valor promig pel conjunt d'estanys ($K = 0.2$).

*² inclou: *Potamogeton* sp. pl., *Sparganium angustifolium*, *Ranunculus* sp. pl., *Subularia aquatica*, *Isoetes* sp. pl., *Nitella* sp., *Myriophyllum alterniflorum*.

*³ inclou crustacis: cladòcers, copèpodes calanoides i copèpodes ciclopoides.

*⁴ inclou crustacis i rotífers

Resultats

Composició de pigments

En els cromatogrames dels extractes obtinguts a partir de les mostres del DCM es van detectar fins a 54 pics amb característiques espectrals diferents. Més de la meitat dels pics van ser identificats com a pigments indicadors de cloròfits, crisòfits, criptòfits, dinoflagel·lades, diatomees o cianobacteris i també alguns propis de bacteris fotosintètics (clorobiàcies i cromatiàcies).

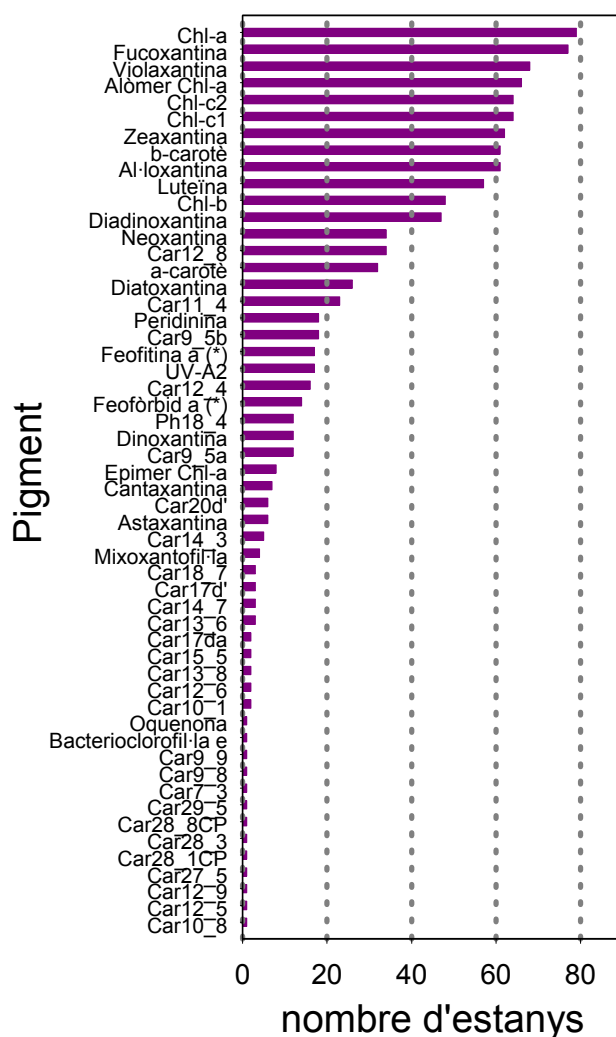


Figura 4.3. Distribució de pigments en funció del nombre d'estanys en què van aparèixer.

Alguns pigments apareixien de manera més freqüent que d'altres. Entre els més freqüents hi havia la Chl-a, Chl-b, Chl-c1 i c2, un alòmer de la Chl-a, el β,β -carotè i diverses xantofil·les (fucoxantina, luteïna, violaxantina i zeaxantina) detectades en més de la meitat dels estanys mostrejats (Figura 4.3). La major part dels pigments no identificats apareixien en un nombre reduït d'estanys i ho feien generalment en concentracions baixes. Alguns dels pigments trobats de manera freqüent com el β,β -carotè i el β,ϵ -carotè o el pigment UV-A2, apareixien en general en concentracions properes al límit de quantificació (0.03 nmolL^{-1}). El pigment UV-A2, detectat en 17 dels estanys mostrejats, presentava característiques espectrals idèntiques que l'escitonemina (3a) i eluïa de la columna cromatogràfica al mateix temps de retenció. També es varen detectar dos pigments indicadors de la presència de poblacions de bacteris fotosintètics, la bacterioclorofil·la e, pigment propi de clorobiàcies brunes; i l'oquenona, propi de cromatiàcies. Aquests pigments es van detectar a l'estany de Malniu. La mostra en aquest estany havia estat presa, de manera excepcional, 2.5 m per sobre el sediment. La presència d'aquests pigments revelava l'existència de condicions anòxiques en la capa més profunda d'aquest estany durant l'estratificació d'estiu.

El número de pigments detectats en cada estany se situava normalment entre 10 i 20 (Figura 4.4). Dins el conjunt d'estanys format per aquells amb un nombre més baix de pigments es trobaven els situats en conques amb geologia majoritàriament metamòrfica i aigües amb una química particular, un contingut elevat d'ions sulfat i pH baix (p.e. Bachimala, Pica Palòmera, Aixeus, Sotllo, Negre, Baiau). Per altra banda, entre els estanys que presentaven més de 20 pigments es trobaven alguns dels més productius en termes de concentració de Chl-a a la fondària de mostreig (p.e. Montmalús, Llosás).

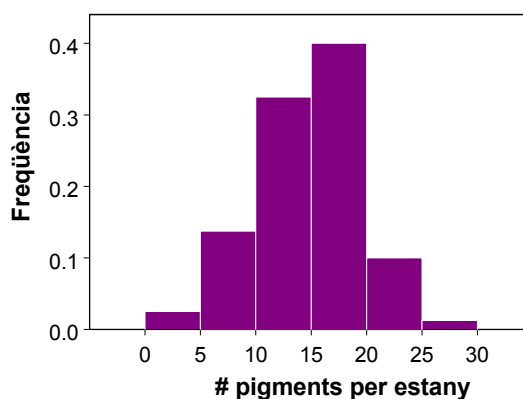


Figura 4.4. Freqüència de distribució del número de pigments que van aparèixer en cada estany.

EL SENYAL DE PIGMENTS A ESCALA REGIONAL

Taula 4.5. Correlacions de Pearson entre pigments indicadors. Les concentracions de pigment han estat prèviament transformades logàritmicament.

| | Crisòfits i diatomees | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------|--------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------------|
| | Tots els grups | | Criptòfits | | | Cloròfits | | | | Dinoflagel·lades | | | | | |
| | β,β -carotè | Chl-a | β,ϵ -carotè | Al·loxantina | Chl-c2 | Chl-b | Luteïna | Neoxantina | Violaxantina | Fucoxantina | Diatoxantina | Chl-c1 | Diadinoxantina | Peridinina | Dinoxantina(-like) |
| β,β - carotè | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Chl-a | 0.863 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| β,ϵ - carotè | 0.570 | 0.587 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| Al·loxantina | 0.381 | 0.600 | 0.770 | 1 | | | | | | | | | | | |
| Chl-c2 | 0.433 | 0.705 | 0.525 | 0.735 | 1 | | | | | | | | | | |
| Chl-b | 0.754 | 0.759 | ns | ns | ns | 1 | | | | | | | | | |
| Luteïna | 0.733 | 0.702 | ns | ns | ns | 0.948 | 1 | | | | | | | | |
| Neoxantina | 0.697 | 0.840 | ns | ns | ns | 0.893 | 0.867 | 1 | | | | | | | |
| Violaxantina | 0.651 | 0.766 | 0.461 | 0.361 | 0.329 | 0.624 | 0.566 | 0.582 | 1 | | | | | | |
| Fucoxantina | 0.594 | 0.768 | ns | 0.407 | 0.659 | 0.355 | ns | 0.470 | 0.633 | 1 | | | | | |
| Diatoxantina | ns | ns | ns | ns | 0.432 | ns | ns | ns | ns | 0.406 | 1 | | | | |
| Chl-c1 | 0.719 | 0.810 | 0.411 | 0.416 | 0.648 | 0.602 | 0.461 | 0.706 | 0.681 | 0.941 | ns | 1 | | | |
| Diadinoxantina | 0.420 | 0.588 | ns | 0.397 | 0.689 | 0.402 | ns | ns | ns | 0.630 | 0.579 | 0.564 | 1 | | |
| Peridinina | 0.685 | 0.777 | ns | ns | 0.783 | 0.945 | 0.599 | ns | 0.582 | 0.579 | ns | 0.728 | 0.793 | 1 | |
| Dinoxantina(-like) | 0.742 | 0.888 | ns | ns | 0.807 | 0.847 | ns | 0.729 | 0.850 | 0.713 | ns | 0.804 | ns | 0.813 | 1 |
| Astaxantina | ns | ns | . | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | . | ns | . | . | . |
| Cantaxantina | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | . | ns | . | . | . |
| Mixoxantofil·la | ns | ns | . | ns | ns | . | . | . | ns | ns | . | ns | ns | . | . |
| Zeaxantina | 0.836 | 0.762 | 0.625 | ns | ns | 0.704 | 0.728 | 0.681 | 0.527 | 0.530 | ns | 0.531 | ns | ns | ns |
| UV-A2 | 0.583 | 0.495 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | 0.578 | ns | ns | 0.679 | ns | ns | . |
| Alòmer Chl-a | 0.484 | 0.618 | ns | 0.390 | 0.559 | 0.569 | 0.401 | 0.692 | 0.596 | 0.702 | ns | 0.733 | 0.436 | 0.549 | 0.741 |
| Epímer Chl-a | 0.777 | 0.853 | ns | ns | ns | 0.940 | 0.838 | 0.928 | ns | ns | ns | ns | ns | . | . |
| Feofòrbid-a2 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | . | . |
| Feofòrbid-a3 | 0.801 | 0.887 | 0.852 | 0.760 | 0.864 | ns | ns | ns | 0.978 | 0.878 | . | 0.877 | ns | . | . |
| Feofitina-a1 | 0.512 | ns | ns | ns | 0.683 | ns | ns | ns | ns | 0.555 | ns | 0.580 | 0.644 | ns | ns |
| Feofitina-a2 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | . | . |

correlació significativa nivell 0.01

correlació significativa nivell 0.05

correlació no significativa (ns)

Taula 4.5. Continuació.

| | Cianobacteris | | | | Derivats Chl-a | | | | | | | |
|-----------------|---------------|--------------|-----------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|
| | Zooplàncton | | | | | | | | | | | |
| | Astaxantina | Cantaxantina | Mixoxantofil-la | Zeaxantina | UV-A2 | Alòmer Chl-a | Epímer Chl-a | Feofòrbid-a2 | Feofòrbid-a3 | Feofitina-a1 | Feofitina-a2 | |
| Astaxantina | 1 | | | | | | | | | | | |
| Cantaxantina | ns | 1 | | | | | | | | | | |
| Mixoxantofil-la | . | . | 1 | | | | | | | | | |
| Zeaxantina | ns | ns | ns | 1 | | | | | | | | |
| UV-A2 | . | . | . | ns | 1 | | | | | | | |
| Alòmer Chl-a | ns | ns | ns | 0.381 | ns | 1 | | | | | | |
| Epímer Chl-a | . | . | . | 0.860 | . | ns | 1 | | | | | |
| Feofòrbid-a2 | . | . | . | ns | . | ns | . | 1 | | | | |
| Feofòrbid-a3 | . | . | . | 0.816 | ns | ns | ns | . | 1 | | | |
| Feofitina-a1 | . | ns | . | ns | -0.975 | 0.524 | ns | ns | ns | 1 | | |
| Feofitina-a2 | . | . | . | ns | . | 0.429 | ns | . | ns | 0.967 | 1 | |

correlació significativa nivell 0.01
 correlació significativa nivell 0.05
 correlació no significativa (ns)

La Chl-a i el β,β -carotè es correlacionaven positivament i significativa amb els pigments indicadors de tots els grups (Taula 4.5). Les correlacions més altes es donaven, com era d'esperar, entre pigments marcadors del mateix grup algal. Dins el grup de pigments derivats de la Chl-a, la feofitina a2 només es correlacionava significativament amb la feofitina a1. L'epímer apareixia molt correlacionat amb els pigments de cloròfits, i el feofòrbid a3 apareixia correlacionat amb els pigments indicadors de tots els grups llevat de cloròfits. El pigment UV-A2 estava correlacionat significativament amb la Chl-c1, el β,β -carotè, la Chl-a i la violaxantina.

Avaluació de la constància en el valor dels quocients entre pigment marcador i Chl-a en el conjunt d'estanys

L'avaluació de la constància en el valor dels quocients entre pigments es va abordar en dues etapes. En primer lloc es va examinar com afectava a l'estima de Chl-a de grup el fet de tractar per separat les mostres que pertanyien a ambients lumínics marcadament diferents.

Per disposar d'un gradient ampli de condicions lumíniques en el que avaluar la constància en el valor dels quocients entre pigments, es van utilitzar les dades de pigments dels perfils verticals realitzats a l'estany Redon al llarg de 10 mesos (capítol 3). En el capítol 3 les mostres s'havien dividit en quatre grups segons si pertanyien al període amb coberta de gel o sense coberta de gel i dins de cada grup segons si la irradiància que els arribava era inferior o superior al 1% de la subsuperficial.

Es va veure que només en el cas de cloròfits, existien diferències significatives entre la concentració de Chl-a estimada amb el CHEMTAX en tractar les mostres en un sol grup o bé en quatre (Figura 4.5a). En estudiar amb més detall aquestes diferències es va veure que si s'eliminava la Chl-b de la matriu H_0 les diferències es reduïen i se centraven al període amb coberta de gel a l'estany i irradiància inferior al 1% de la subsuperficial (Figura 4.5b, cercles sòlids). És a dir, que utilitzar només xantofil·les en la matriu H_0 donava resultats més consistents que utilitzar xantofil·les i clorofil·les.

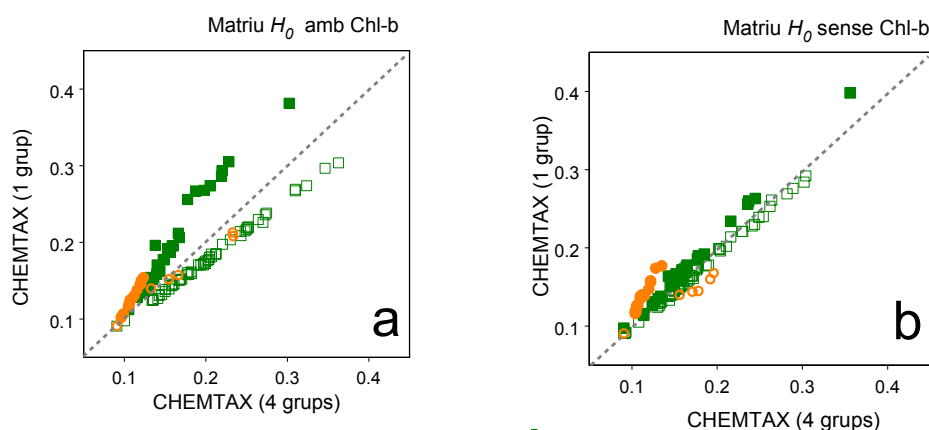


Figura 4.5. Chl-a de cloròfits estimada amb el programa CHEMTAX en tractar les mostres conjuntament o bé en quatre grups segons el període de mostreig i el percentatge de llum: mostres del període sense coberta de gel per sobre 1 % d'irradiància (quadrats buits), mostres del període sense coberta de gel per sota 1% d'irradiància (quadrats plens), mostres del període amb coberta de gel per sobre 1% (cercles buits), mostres del període amb coberta de gel per sota 1% (cercles plens). Utilitzant Chl-b en la matriu H_0 (a). Sense utilitzar Chl-b en la matriu H_0 (b).

Aquests canvis en el contingut de pigment podrien estar relacionats amb les diferències en el comportament dels quocients xantofil·les/Chl-a i clorofil·les/Chl-a amb els canvis d'irradiància ja que xantofil·les i clorofil·les no tenen exactament les mateixes funcions cel·lulars (Wilhelm *et al.*, 1991).

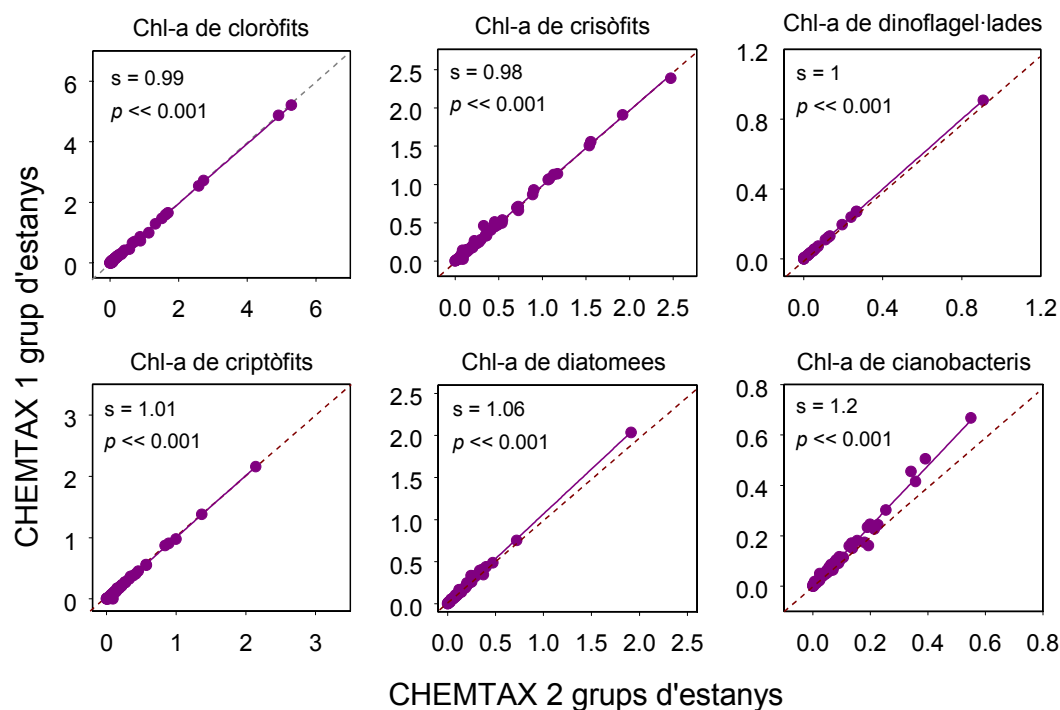


Figura 4.6. Chl-a (nmol L⁻¹) corresponent a cada grup algal estimada en tractar els estanys en un sol grup o bé en dos segons si la mostra havia estat presa per sota o per sobre el 18% de I_0 (Z_s). Pendent de la recta (s) i significació de l'ajust (p).

Per examinar si les diferències que existien pel que feia al factor llum en el conjunt d'estanys també afectaven l'estima del CHEMTAX com ho feien a l'estany Redon a l'inici del període amb coberta de gel, es van fer dos grups d'estanys per a ser analitzats independentment amb el CHEMTAX. Els estanys del primer grup presentaven una I_0 (Z_s) entre 3-14% i coincidien majoritàriament amb els estanys mostrejats a ≥ 1.5 vegades el disc de Secchi ($n = 47$). En el segon grup la I_0 (Z_s) era $\geq 18\%$ i agrupava els estanys on la fondària teòrica de mostreig excedia la fondària màxima de l'estany ($n = 33$). Entre 14 i 18% no hi havia cap estany. Els quocients entre pigments de les matrius H_m resultants, quan es consideraven tots els estanys en un sol grup o bé en dos, eren pràcticament idèntics, només canviaven lleugerament els quocients dels pigments indicadors de diatomees. Diatomees i cianobacteris eren els únics grups que presentaven petites diferències entre separar els estanys en dos grups o bé tractar-los tots junts (Figura 4.6).

Però en general, els resultats de la comparació indicaven que el factor llum no tenia influència i que no era necessari subdividir el conjunt d'estanys en aquests dos grups.

Composició de grups algals derivada de la utilització de pigments marcadors

La concentració de Chl-a en els estanys mostrejats era molt baixa, un 90% dels estanys presentaven valors per sota els 3.4 nmol Chl-a L⁻¹ (3.8 µg Chl-a L⁻¹; Figura 4.7) i un 60% per sota de 1 nmol Chl-a L⁻¹, responnent a la visió que es té dels estanys d'alta muntanya com a sistemes poc productius.

La matriu H_m amb els quocients entre pigments ajustats pel programa CHEMTAX en tractar tots els estanys en un sol grup no va presentar canvis significatius respecte la matriu H_0 (Taula 4.3). Només van canviar de valor els quocients dels pigments marcadors de diatomees. La diadinoxantina va reduir a la meitat el valor del quocient mentre la diatoxantina el va augmentar lleugerament. El quocient entre diatoxantina i Chl-a per les diatomees de la matriu H_0 , havia estat obtingut de la bibliografia i no d'informació prèvia en estanys dels Pirineus, com passava amb els altres quocients. Aquest fet podria explicar la necessitat del programa de reajustar el valor del quocient. En general però, la constància en els valors del quocient era un indicatiu clar de la robustesa del mètode.

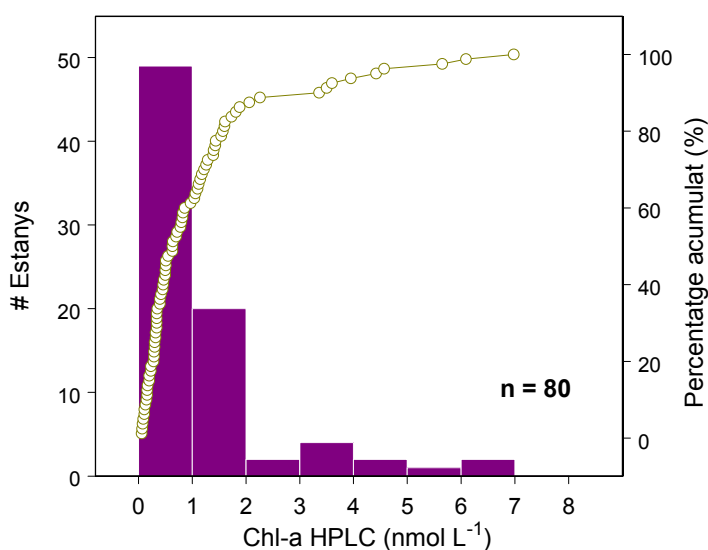


Figura 4.7. Distribució de la concentració de Chl-a (nmol L⁻¹) mesurada amb l'HPLC (histogrames) i percentatge acumulat d'estanys (cercles).

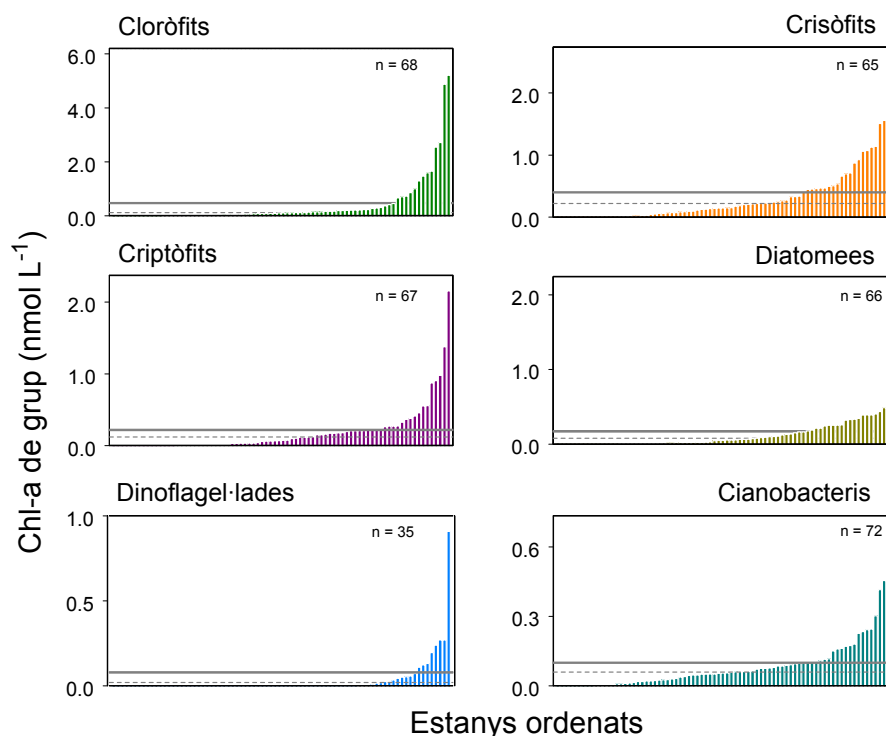


Figura 4.8. Chl-a (nmol L⁻¹) corresponent a cada grup algal estimada amb el CHEMTAX. La línia de punts representa la mediana i la mitjana dels valors en el conjunt d'estanys.

Els grups algals que presentaven un rang més ampli en el valor de la concentració de Chl-a atribuïble al grup eren cloròfits, crisòfits, criptòfits i diatomees (Figura 4.8). En el cas de cloròfits hi havia dos estanys on les concentracions eren especialment altes, el Gourg Negre (5.21 nmol Chl-a L⁻¹) i Montagnon (4.88 nmol Chl-a L⁻¹). En el conjunt dels estanys però, la concentració mitjana i mediana de Chl-a atribuïble a cloròfits fou de 0.47 i 0.12 nmol Chl-a L⁻¹ respectivament. Els crisòfits tot i no assolir valors tan alts, valor màxim de 2.39 nmol Chl-a L⁻¹ a Montmalús, també arribaven a una concentració mitjana i mediana similar de 0.4 i 0.22 nmol Chl-a L⁻¹ respectivament. En criptòfits els valors més alts foren mesurats a l'estany de l'Illa (2.16 nmol Chl-a L⁻¹) i a Montmalús (1.38 nmol Chl-a L⁻¹), la concentració mitjana i mediana de Chl-a atribuïble a criptòfits en el conjunt d'estanys fou de 0.22 i 0.12 nmol Chl-a L⁻¹, respectivament. En diatomees, els valors foren molt més baixos, 0.17 nmol Chl-a L⁻¹ de mitjana i 0.08 nmol Chl-a L⁻¹ de mediana, com ja havia passat en altres grups fou a l'estany Montmalús on es va trobar el valor màxim de concentració (2 nmol Chl-a L⁻¹). De manera semblant, en dinoflagel·lades es van calcular valors de 0.08 nmol Chl-a L⁻¹ de mitjana i 0.02 nmol Chl-a L⁻¹ de mediana. L'estany d'Albe fou el que va presentar la concentració més alta de Chl-a atribuïble a dinoflagel·lades (0.91 nmol Chl-a L⁻¹). En aquest darrer grup algal el senyal de pigments es va perdre en un nombre considerable d'estanys. En canvi, el senyal pigmentari de cianobacteris, tot i

ser també feble, fou sempre present amb valors de 0.1 nmol Chl-a L⁻¹ de mitjana i 0.06 de mediana. El Gourg Negre fou l'estany que va presentar la concentració més alta de Chl-a atribuïble a cianobacteris (0.67 nmol Chl-a L⁻¹).

En valors relatius (Figura 4.9a), els crisòfits eren el grup algal que apareixia com a dominant a la fondària de mostreig en un nombre més gran d'estanys (n = 34), seguits pels criptòfits (n = 15) i els cloròfits (n = 14). Diatomees i cianobacteris dominaven en un nombre reduït d'estanys (n = 12 i n = 4 respectivament) mentre dinoflagel·lades només ho feien en un estany, el Tourrat (Taula 4.6).

El domini dels crisòfits en el DCM arribava a ser del 100% en dos estanys, el Redon i l'estany Negre (#58). Cloròfits, diatomees i criptòfits no contribuïen mai en més d'un 87% al total de Chl-a. Els cianobacteris podien arribar a contribuir fins un 48 % i en canvi les dinoflagel·lades com a molt arribaven al 40% (Figura 4.9b).

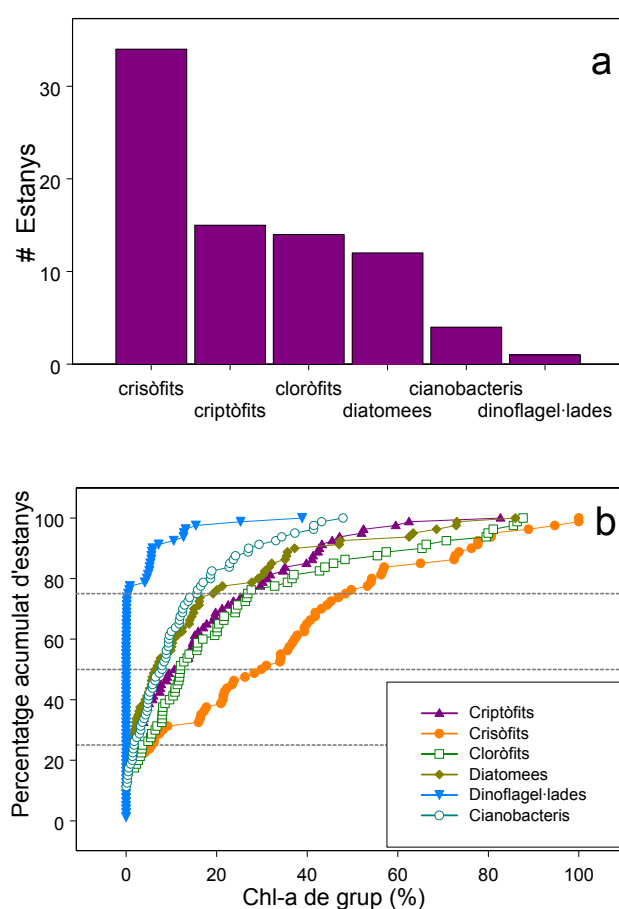


Figura 4.9. Nombre d'estanys en que domina cada grup algal a la fondària de mostreig a). Freqüències acumulades de la concentració de Chl-a corresponent a cada grup algal expressada en percentatges b). La línia de punts en el gràfic inferior indica els quartils.

4. COMPOSICIÓ DE GRUPS ALGALS I RELACIÓ AMB GRADIENTS AMBIENTALS

Taula 4.6. Percentatge de Chl-a de grup estimada amb el CHEMTAX en el DCM dels estanys estudiats.

| # Codi | Nom de l'estany | CLORÒFITIS | CRISÒFITIS | CRIPTOFITIS | DIATOMEES | DINOFLAGEL-LADES | CYANOBACTERIS |
|-----------|--------------------------|------------|------------|-------------|-----------|------------------|---------------|
| 1 PY0001 | Acherito | 0 | 0 | 0 | 47 | 15 | 37 |
| 2 PY0008 | Bersau | 11 | 30 | 19 | 35 | 0 | 5 |
| 3 PY0013 | Montagnon | 86 | 0 | 0 | 6 | 0 | 7 |
| 4 PY0044 | Ormiélas | 8 | 0 | 0 | 63 | 0 | 29 |
| 5 PY0074 | Asnos | 12 | 8 | 52 | 14 | 0 | 14 |
| 6 PY0080 | Pondiellos sup. | 4 | 56 | 9 | 30 | 1 | 0 |
| 7 PY0089 | Arnales | 0 | 0 | 0 | 86 | 0 | 14 |
| 8 PY0154 | Arratille | 0 | 5 | 43 | 28 | 6 | 19 |
| 9 PY0155 | Col d'Arratille | 3 | 37 | 41 | 5 | 5 | 9 |
| 10 PY0165 | Estom | 16 | 2 | 35 | 37 | 0 | 10 |
| 11 PY0172 | Glacé | 3 | 0 | 28 | 69 | 0 | 0 |
| 12 PY0192 | Helado del Monte Perdido | 17 | 34 | 9 | 7 | 0 | 33 |
| 13 PY0194 | Helado de Marboré | 13 | 44 | 4 | 16 | 6 | 17 |
| 14 PY0201 | Bleu | 0 | 42 | 5 | 10 | 0 | 43 |
| 15 PY0209 | Tourrat | 8 | 4 | 9 | 35 | 39 | 4 |
| 16 PY0223 | Cap Long | 0 | 0 | 0 | 73 | 0 | 27 |
| 17 PY0228 | La Munia Sup. | 2 | 47 | 12 | 20 | 0 | 19 |
| 18 PY0237 | Barroude Inf. | 0 | 40 | 20 | 12 | 5 | 23 |
| 19 PY0243 | Les Laquettes 1 | 16 | 34 | 41 | 1 | 0 | 8 |
| 20 PY0265 | Port Bielh | 0 | 16 | 32 | 10 | 0 | 41 |
| 21 PY0291 | Urdiceto | 8 | 78 | 3 | 2 | 0 | 9 |
| 22 PY0294 | Basa de la Mora | 20 | 6 | 60 | 2 | 0 | 12 |
| 23 PY0299 | Pixón | 12 | 18 | 62 | 0 | 0 | 8 |
| 24 PY0304 | Bachimala Sup. | 0 | 0 | 0 | 73 | 0 | 27 |
| 25 PY0305 | Sen | 36 | 0 | 0 | 16 | 0 | 48 |
| 26 PY0309 | Chelau Sup. | 0 | 81 | 1 | 0 | 5 | 13 |
| 27 PY0323 | Posets | 28 | 53 | 18 | 1 | 0 | 0 |
| 28 PY0338 | Eriste | 26 | 57 | 4 | 1 | 0 | 12 |
| 29 PY0363 | Lliterola | 0 | 76 | 0 | 0 | 0 | 24 |
| 30 PY0378 | Cregüena | 37 | 36 | 15 | 0 | 0 | 13 |
| 31 PY0383 | Coronas | 71 | 3 | 23 | 0 | 0 | 4 |
| 32 PY0390 | Llosás | 57 | 21 | 12 | 7 | 0 | 2 |
| 33 PY0413 | Puis | 44 | 0 | 7 | 47 | 0 | 1 |
| 34 PY0449 | Nere de Güerri | 12 | 73 | 1 | 5 | 0 | 9 |

Taula 4.6. Continuació.

| # Codi | Nom de l'estany | CLORÒFITS | CRISÒFITS | CRIPTOFITS | DIATOMEES | DINOFLAGEL·LADES | CYANOBACTERIS |
|-----------|------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|------------------|---------------|
| 35 PY0461 | Pica Palòmera | 22 | 78 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 36 PY0469 | Long de Liat | 6 | 74 | 16 | 4 | 0 | 1 |
| 37 PY0477 | Llebreta | 22 | 37 | 17 | 15 | 4 | 5 |
| 38 PY0499 | Gran del Pessó | 11 | 21 | 25 | 31 | 0 | 12 |
| 39 PY0519 | Plan | 33 | 49 | 14 | 5 | 0 | 0 |
| 40 PY0520 | Montoliu | 2 | 54 | 1 | 2 | 0 | 42 |
| 41 PY0549 | Filà | 24 | 31 | 0 | 10 | 0 | 34 |
| 42 PY0553 | Llong | 5 | 50 | 27 | 15 | 0 | 3 |
| 43 PY0569 | Gelat Bergús | 6 | 72 | 4 | 2 | 0 | 16 |
| 44 PY0605 | Illa | 8 | 42 | 47 | 3 | 0 | 0 |
| 45 PY0609 | Gerber | 14 | 45 | 15 | 21 | 0 | 5 |
| 46 PY0663 | Airoto | 11 | 16 | 52 | 12 | 7 | 1 |
| 47 PY0665 | Gran de Mainera | 37 | 39 | 14 | 6 | 0 | 3 |
| 48 PY0672 | Rond | 12 | 24 | 40 | 6 | 0 | 19 |
| 49 PY0695 | Inferior de la Gallina | 7 | 57 | 15 | 6 | 13 | 3 |
| 50 PY0705 | Mariola | 12 | 54 | 14 | 10 | 5 | 6 |
| 51 PY0722 | Senó | 20 | 22 | 30 | 6 | 0 | 23 |
| 52 PY0723 | Romedo de Dalt | 20 | 38 | 31 | 9 | 0 | 2 |
| 53 PY0730 | Aubé | 81 | 7 | 6 | 1 | 0 | 5 |
| 54 PY0743 | Aixeus | 4 | 95 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 55 PY0751 | Sotllo | 9 | 81 | 5 | 4 | 0 | 1 |
| 56 PY0752 | Garbet | 25 | 43 | 8 | 14 | 6 | 5 |
| 57 PY0759 | Pica | 10 | 89 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 58 PY0785 | Negre | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 59 PY0790 | Forcat Inf. | 24 | 39 | 8 | 8 | 13 | 8 |
| 60 PY0800 | Angonella de Mes Amunt | 3 | 65 | 1 | 19 | 0 | 12 |
| 61 PY0805 | Mes amunt de Tristaina | 66 | 21 | 3 | 3 | 0 | 6 |
| 62 PY0831 | Blaou | 16 | 17 | 21 | 36 | 5 | 5 |
| 63 PY0839 | Gran de la Pera | 27 | 41 | 24 | 0 | 0 | 9 |
| 64 PY0867 | Ensagents Sup. | 56 | 0 | 0 | 32 | 11 | 2 |
| 65 PY0893 | Montmalús | 10 | 34 | 20 | 29 | 0 | 7 |
| 66 PY0910 | Canals Roges | 27 | 26 | 30 | 1 | 0 | 16 |
| 67 PY0929 | Albe | 46 | 9 | 6 | 11 | 25 | 2 |
| 68 PY0931 | Siscar | 20 | 6 | 43 | 15 | 6 | 10 |
| 69 PY0953 | Malniu | 65 | 0 | 35 | 0 | 0 | 0 |
| 70 PY0956 | Compte | 0 | 0 | 83 | 0 | 0 | 17 |

Taula 4.6. Continuació.

| # Codi | Nom de l'estany | CLORÒFITS | CRISÒFITS | CRIPTOFITS | DIATOMEES | DINOFLAGEL·LADES | CYANOBACTERIS |
|-----------|---------------------|-----------|-----------|------------|-----------|------------------|---------------|
| 71 PY0968 | Aygue Longue | 80 | 17 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| 72 PY1002 | Trebens | 43 | 0 | 46 | 2 | 0 | 9 |
| 73 PY1005 | Blau | 5 | 28 | 2 | 63 | 1 | 0 |
| 74 PY1012 | Bleu de Rabassoles | 48 | 22 | 0 | 16 | 13 | 0 |
| 75 PY1039 | Gros de Camporrells | 8 | 23 | 42 | 2 | 0 | 24 |
| 76 PY1047 | Laurenti | 14 | 36 | 15 | 32 | 0 | 4 |
| 77 PY1058 | Negre | 86 | 0 | 1 | 3 | 0 | 11 |
| 78 PY1059 | Estelat | 88 | 6 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| 79 PY1062 | L'Estagnol | 80 | 0 | 11 | 0 | 0 | 9 |
| 80 PY0423 | Redon | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Patrons de variació en la composició de grups algals al llarg de gradients ambientals

Es va realitzar un RDA per cadascun dels 5 grups de variables, utilitzant el procediment de *forward selection*. Aquest procediment permetia seleccionar aquelles variables que explicaven de manera significativa un percentatge més gran de variància dins de cada subconjunt de variables. La significació estadística de cada variable ambiental es va testar amb un test de permutacions de Monte Carlo (999 permutacions; Besag i Clifford, 1989), admetent com a significatives aquelles amb $p < 0.01$.

Les variables descriptors de la química de l'aigua eren les que en conjunt explicaven un percentatge més gran de la variància dels grups algals (Taula 4.7). Dins aquest grup de variables, el calci (Ca) i el fòsfor total (TP) n'explicaven de manera significativa un 17.3%. La variable anomenada classe de temperatura (Temp) fou la única variable significativa del grup format pels descriptors físics de l'hàbitat i explicava un 6.7% de la variància. Del grup format per les variables descriptors de l'hàbitat relacionades amb els organismes en van aparèixer dos de significatives: la presència/absència de peixos (Fish) i la concentració de macrozooplàncton (MZP), juntes explicaven un 14.3% de la variància de la que un 2.2% era compartida (Taula 4.7).

Taula 4.7. Variables identificades en diferents RDA durant el procediment de *forward selection* i percentatge de variància explicada per cada grup de variables. S'ha separat el percentatge explicat per cada variable del percentatge que comparteixen les variables d'un mateix grup. L'anàlisi RDA-6 es va realitzar a partir de les variables seleccionades en els RDA anteriors. Els estanys Helado del Monte Perdido (#12), Urdiceto (#21), Gran de Mainera (#47), Canals Roges (#66), Estagnol, (#79) Baiau (#81) i Monges (#82) es van excloure de l'anàlisi per manca de dades en alguna variable.

| | | Variància explicada (%) |
|-------|---|-------------------------|
| RDA-1 | <i>Descriptors de la química de l'aigua</i> | 17.3 |
| | Ca | 9.1 |
| | TP | 8.2 |
| | Compartida per les dues anteriors | 0 |
| RDA-2 | <i>Descriptors de l'hàbitat (físics)</i> | 6.7 |
| | Temp | 6.7 |
| RDA-3 | <i>Descriptors de l'hàbitat (biòtics)</i> | 14.3 |
| | Fish | 7 |
| | MZP | 5.1 |
| | Compartida per les dues anteriors | 2.2 |
| RDA-4 | <i>Descriptors de la conca</i> | 5.1 |
| | GeolPlut | 5.1 |
| RDA-5 | <i>Variables geogràfiques</i> | 9.8 |
| | Lon | 6.5 |
| | Alt | 3.3 |
| | Compartida per les dues anteriors | 0 |
| RDA-6 | <i>Variables seleccionades en RDA anteriors</i> | 26.3 |
| | Ca | 6.8 |
| | Fish | 5.4 |
| | TP | 4.5 |
| | MZP | 3.7 |
| | Compartida per les quatre anteriors | 5.1 |

N = 75

4. COMPOSICIÓ DE GRUPS ALGALS I RELACIÓ AMB GRADIENTS AMBIENTALS

Taula 4.8. Resultats del RDA-6 sobre la composició de grups algals en percentatges i les variables ambientals significatives. Els estanys Helado del Monte Perdido (#12), Urdiceto (#21), Gran de Mainera (#47), Canals Roges (#66), Estagnol, (#79) Baiau (#81) i Monges (#82) es van excloure de l'anàlisi per manca de dades en alguna variable.

| Eixos | 1 | 2 | 3 | 4 | Variància total |
|--|---------|--------|---------|---------|-----------------|
| Valors propis : | 0.131 | 0.109 | 0.022 | 0.001 | 1 |
| Correlacions grups algals-ambient : | 0.633 | 0.643 | 0.319 | 0.134 | |
| Percentatge acumulat de variància | | | | | |
| Dels grups algals : | 13.1 | 23.9 | 26.2 | 26.3 | |
| De la relació grups algals-ambient : | 49.7 | 91 | 99.4 | 100 | |
| Suma de tots els valors propis | | | | | 1 |
| Suma de tots els valors propis canònics | | | | | 0.263 |
| Correlacions de les variables ambientals amb els eixos | | | | | |
| Ca | -0.0041 | 0.5722 | -0.1441 | -0.008 | |
| TP | 0.4836 | 0.1148 | -0.0819 | 0.0757 | |
| Fish | 0.4949 | 0.0742 | 0.0786 | -0.0752 | |
| MZP | 0.3343 | -0.331 | -0.1872 | -0.0448 | |

En el grup format pels descriptors de les característiques de la conca, el percentatge de roca plutònica (GeolPlut) explicava de manera significativa un 5.1% de la variància. L'últim grup va ser el de variables geogràfiques, en el que es van seleccionar com a significatives la longitud (Lon) i l'altitud de l'estany (Alt), juntes explicaven un 9.8% de la variància.

Es va realitzar un nou RDA (RDA-6) amb les 8 variables seleccionades en un mateix anàlisi. De nou, per evitar la redundància estadística es va utilitzar el procediment de *forward selection* durant l'anàlisi testant la significació de cada variable amb un test de permutacions de Monte Carlo (999 permutacions; $p < 0.01$). Després d'eliminar la redundància, la combinació mínima de variables que millor explicava la composició de grups algals estava formada pel Ca, TP, Fish i MZP (RDA-6; Taula 4.7).

Les variables que no van ser seleccionades explicaven menys variància alhora que estaven correlacionades amb alguna de les variables seleccionades. Les variables Lon i GeoPlut estaven correlacionades negativament amb la variable Ca ($r = -0.57$ i $r = -0.44$ respectivament, $p < 0.01$) probablement perquè els estanys situats en conques amb un percentatge important de roques carbonatades se situen preferentment a l'oest dels Pirineus. Per altra banda, existia una correlació positiva, fins ara inexplicada, entre aquestes dues variables i la variable densitat de macrozooplàncton ($r = 0.31$ i $r = 0.32$ per

Lon i GeolPlut respectivament, $p < 0.01$). Un 24% de la variància en les dades era explicada pels dos primers eixos del RDA-6 (Taula 4.8). La presència/absència de peixos (Fish) i el fòsfor total (TP) n'explicaven un 5.4% i un 4.5% respectivament i estaven correlacionats positivament amb el primer eix de l'ordenació ($r = 0.49$ i $r = 0.48$ respectivament, Taula 4.8).

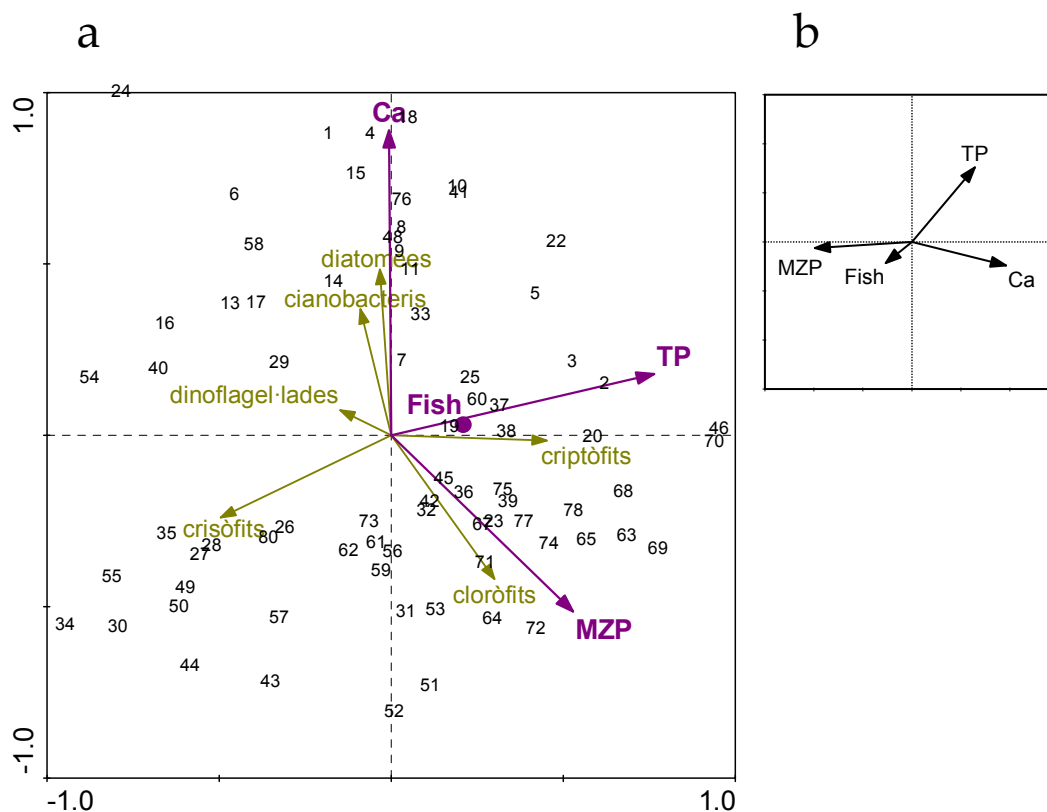


Figura 4.10. Diagrama d'ordenació que mostra la combinació lineal de variables que descriuen els principals gradients de variació en la composició de grups algals en els dos primers eixos de l'anàlisi RDA-6 (a). Anàlisi de components principals (PCA) amb les variables ambientals seleccionades a partir de l'anàlisi RDA (b). Els noms complets de les variables ambientals, les unitats i les transformacions aplicades a cada variable es troben a la taula 4.2. La variable binària Fish s'ha representat a partir del valor del centroid. Els estanys Helado del Monte Perdido (#12), Urdiceto (#21), Gran de Mainera (#47), Canals Roges (#66), Estagnol, (#79) Baiau (#81) i Monges (#82) es van excloure de l'anàlisi per manca de dades en alguna variable.

La concentració de calci (Ca) era la variable que explicava independentment un percentatge més gran de variància (6.8% en RDA-6; Taula 4.7), i apareixia correlacionada positivament amb el segon eix de l'ordenació ($r = 0.57$, Taula 4.8). La densitat de macrozooplàncton n'explicava un 3.7% (RDA-6; Taula 4.7) i estava correlacionada positivament amb el primer eix i negativament amb el segon ($r = 0.33$ i $r = -0.33$ respectivament, Taula 4.8).

La correlació positiva que existia entre TP, Fish i MZP i el primer eix de l'anàlisi indicava l'existència d'un gradient associat a aquest eix i relacionat amb l'estat tròfic dels estanys. Els criptòfits es mostraven associats a estanys amb concentracions més altes de fòsfor i presència de peixos mentre que a l'extrem oposat del gradient predominaven els crisòfits (Figura 4.10). Els cloròfits apareixien correlacionats amb densitats més altes de macrozooplàncton. La resta de grups algals, diatomees, cianobacteris i dinoflagel·lades, semblaven independents del gradient tròfic. El segon gradient, associat al segon eix de l'anàlisi, era el definit per la concentració de calci, a aquest segon gradient s'associaven positivament cianobacteris i diatomees, i negativament cloròfits i, en menor grau, crisòfits. Els criptòfits i dinoflagel·lades eren independents del gradient marcat pel calci.

Discussió

Pigments que absorbeixen en l'UV-A

L'escitonemina és un pigment que absorbeix en la regió de l'espectre que correspon a la llum ultraviolada. La seva presència en cianobacteris epilítics ha estat àmpliament documentada en la bibliografia i se li ha atribuït la funció de fotoprotecció (Garcia-Pichel i Castenholz, 1991). Les comunitats bentòniques i en menor grau les espècies que viuen a l'epilimnion estan exposades a irradiàncies molt elevades, la presència de carotenoides i altres compostos com l'escitonemina o els MAAs (*mycosporine-like* amino àcids) els serveixen de protecció enfront les radiacions nocives (Cockell i Knowland, 1999 i referències citades). Fins ara però, l'escitonemina no ha estat mai trobada en poblacions fitoplanctòniques. Alguns autors, han trobat pigments amb característiques espectrals similars en mostres superficials de l'Atlàntic Nord (Llewellyn i Mantoura, 1997) i en cultius de *Gymnodinium catenatum*, dinoflagel·lada marina que de vegades creix de manera explosiva en aigües superficials (Jeffrey *et al.*, 1999). En els dos casos anteriors els autors atribuïen la detecció del pigment a la presència de dinoflagel·lades en capes superficials.

En els estanys examinats en aquest estudi, el pigment anomenat UV-A2 presentava unes característiques espectrals i temps de retenció que coincidien amb els del pigment identificat com a escitonemina (3a) detectat en analitzar mostres de cianobacteris bentònics (*Stigonema* sp. i *Nostoc zetterstedtii*) de tres estanys dels Pirineus situats per

sobre els 2400 m d'altitud (estany Gelat Bergús, Podo i Perdut; capítol 1). Malgrat la semblança amb l'escitonemina, UV-A2 no presentava cap relació amb l'altitud en que es trobava situat l'estany ni amb la transparència de les seves aigües, estimada a partir de la fondària de visió del disc de Secchi. Tampoc apareixia correlacionat amb cap pigment indicador de cianobacteris tot i que sí que ho estava amb la chl-c1, β,β -carotè, Chl-a i violaxantina (Taula 4.5). Aquests pigments amb els que apareixia correlacionat eren indicadors de més d'un grup algal tot i que probablement representaven principalment el grup dels crisòfits. És possible que la pròpia naturalesa del mostatge, que perseguia la caracterització de grups algals en el màxim profund de producció, sigui l'origen d'aquesta manca de consistència en el senyal de l'UV-A2. La concentració de compostos que absorbeixen en la regió de l'espectre que correspon a la llum ultraviolada dibuixa un gradient en ordre decreixent amb la fondària de l'estany (Laurion *et al.*, 2002). Aquest fet ens suggereix que la zona mostrejada no era la més indicada per detectar aquest tipus de compostos, si més no en grans quantitats. Per altra banda, l'estructura tèrmica també variava considerablement entre estanys, mentre alguns es trobaven estratificats la resta presentaven un gradient de temperatura o es trobaven totalment barrejats. Tot i la correlació amb pigments indicadors de producció primària en conjunt (β,β -carotè i Chl-a), potser la presència de l'UV-A2 no era deguda en tots els casos a una producció *in situ*.

Composició de grups algals en el DCM

Crisòfits, criptòfits i cloròfits eren els grups dominants a la fondària de mostreig. La importància de les dinoflagel·lades en el DCM, que habitualment té lloc en les capes hipolimnètiques de l'estany, es pot considerar baixa. Les dinoflagel·lades són un grup amb un contingut de pigment baix en relació al volum cel·lular i prefereixen les aigües epilimnètiques. Aquestes dues circumstàncies podrien contribuir a explicar l'escàs senyal que es tenia de pigments propis d'aquest grup en el DCM. A l'estany Redon, durant el període lliure de gel, es va calcular de l'ordre de $0.14 \mu\text{g L}^{-1}$ de Chl-a atribuïble a dinoflagel·lades i només es tenia senyal de pigments per sobre un biovolum de dinoflagel·lades de $0.1 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ (capítol 3). La situació era una mica la inversa en el cas de cianobacteris, si bé la contribució al total de Chl-a en el DCM per part d'aquest grup era sempre baixa, eren el grup del que es tenia senyal en un nombre més gran d'estanys ($n = 72$). Els resultats suggerien que els cianobacteris són un component no gens menyspreable del picoplàncton dels sistemes ultraoligotròfics.

Patrons de variació en la composició de grups algals al llarg del gradient d'estat tròfic

Entre els nutrients que poden limitar el creixement del fitoplàncton (p.e. fòsfor, nitrogen, carboni, silici) el fòsfor hi té un paper destacat (p.e. Smith, 1982). Un dels patrons més ben documentats en ecologia és la relació positiva que existeix entre l'enriquiment de

nutrients, descrit a partir de la concentració de fòsfor total del sistema, i la biomassa fitoplanctònica (p.e. Mazumder, 1994).

La composició taxonòmica del fitoplàncton i la diversitat d'espècies canvien en augmentar la concentració de nutrients (p.e. LaZerte i Watson, 1981; Smith, 1990). Els patrons de canvi en la composició taxonòmica de grups algals han estat estudiats en llacs de la regió temperada (Watson *et al.*, 1997). La informació però, és més escassa en sistemes ultraoligotròfics com els que trobem en els estanys d'alta muntanya dels Pirineus, on segons les concentracions de TP mesurades en aquest estudi, un 72% dels estanys mostrejats es podien classificar com ultraoligotròfics ($TP < 4.7 \mu\text{g L}^{-1}$), un 22% com oligotròfics ($4.7 < TP < 9.3 \mu\text{g L}^{-1}$) i un 6% com mesotròfics ($9.3 < TP < 31 \mu\text{g L}^{-1}$) (OECD, 1982).

En llacs de la zona temperada, a un extrem de l'espectre en l'estat tròfic es troben els sistemes oligotròfics, que suporten una biomassa de fitoplàncton mínima amb una diversitat d'espècies baixa i són generalment dominats per nanoflagel·lats que pertanyen als grups dels crisòfits i criptòfits o per picoplàncton format per cianobacteris o cloròfits (p.e. Pick i Caron, 1987; Willén *et al.*, 1990). A l'altre extrem de l'espectre es troben els estanys eutròfics i hipereutròfics, que suporten de mitjana valors alts de biomassa algal, habitualment cianobacteris, diatomees i cloròfits colonials (p.e. Paerl, 1988; Padisak i Dokulil, 1994; Jensen *et al.*, 1994). En la posició intermitja que ocupen els sistemes mesotròfics, la major part de grups taxonòmics tenen representació al llarg de l'estació de creixement, especialment les diatomees, cloròfits, criptòfits, dinoflagel·lades; però també cianobacteris i crisòfits (p.e. Rosén, 1981; Eloranta, 1986).

Als estanys dels Pirineus es podia esperar que en valors absoluts tots els grups algals augmentessin en fer-ho la concentració de fòsfor. En canvi en valors relatius, es podia esperar que els grups algals presentessin òptims de creixement a determinades concentracions del recurs limitant.

En superposar en un sol gràfic les corbes ajustades per cada grup algal (Figura 4.11) utilitzant el mètode de suavitzat LOWESS (Cleveland, 1979), es va veure com en expressar les dades en valors absoluts no tots els grups augmentaven en fer-ho la concentració de fòsfor (Figura 4.12a). Els criptòfits i dinoflagel·lades presentaven un augment sostingut al llarg del gradient de fòsfor mentre els crisòfits tendien lleugerament a disminuir i els altres grups no mostraven una resposta clara.

En expressar la composició de grups en percentatges es veia com el gradient tròfic afectava fonamentalment a dos grups algals, els crisòfits i els criptòfits, que eren els que dominaven en els extrems del gradient (Figura 4.12b). Els crisòfits, eren el grup clarament dominant en estanys ultraoligotròfics i a mesura que augmentava la concentració de fòsfor cedien aquesta dominància als criptòfits. La concentració de fòsfor on hi havia el punt d'intersecció entre els dos grups era de $6 \mu\text{g TP L}^{-1}$. Cloròfits i diatomees esdevenien en proporció lleugerament més importants en augmentar la concentració de fòsfor. En canvi, la proporció de cianobacteris augmentava a concentracions de fòsfor intermitges dins el gradient, és a dir a concentracions properes a $5 \mu\text{g TP L}^{-1}$, mentre presentava els valors més baixos als extrems del gradient.

Aquests canvis en la composició taxonòmica de grups algals estan relacionats amb les diferències que existeixen entre tàxons pel que fa a assimilació de nutrients, creixement,

emmagatzematge i taxes de pèrdua (Reynolds, 1984). Els mecanismes cel·lulars que permeten l'assimilació de nutrients consumeixen part de l'energia generada per la cèl·lula a partir de la respiració i la fotosíntesi. Així doncs, l'assimilació no només depèn de què les concentracions de nutrients del medi siguin les adequades, també depèn de la capacitat de la pròpia cèl·lula per processar aquests nutrients, és a dir de la taxa màxima a la que la cèl·lula pot assimilar els nutrients i de com aquesta assimilació es tradueix en creixement cel·lular. El creixement cel·lular depèn de factors fisiològics i metabòlics relacionats amb la mida cel·lular i l'organització estructural. Cèl·lules petites amb taxes d'assimilació i de divisió altes estarien millor adaptades a sistemes pobres en nutrients (p.e. Hecky i Kilham, 1988).

En el DCM dels estanys ultraoligotròfics dels Pirineus, són els crisòfits i secundàriament els cloròfits els grups dominants. Segons els resultats obtinguts, els criptòfits hi esdevenen més abundants quan les concentracions de fòsfor superen els 5 $\mu\text{g TP L}^{-1}$, és a dir en estanys oligotròfics i mesotròfics (OECD, 1982).

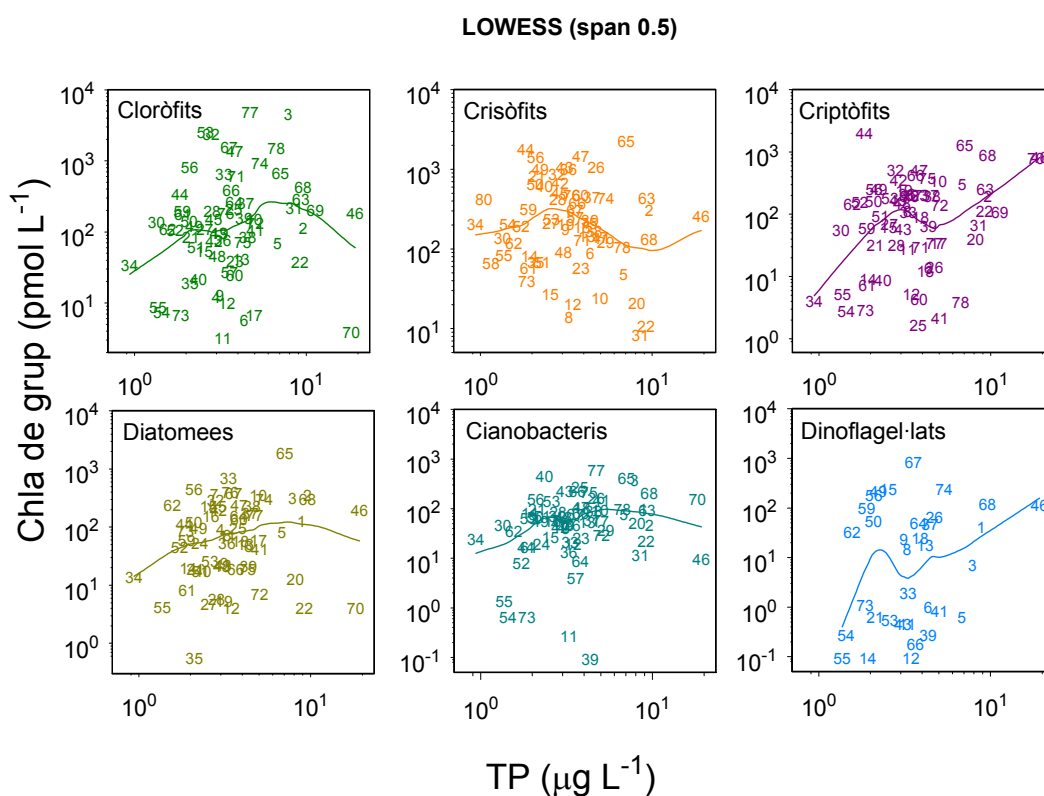


Figura 4.11. Chl-a estimada amb el CHEMTAX corresponent a cada grup algal al llarg del gradient de TP. Cada número del gràfic correspon a un estany segons la taula 4.1.

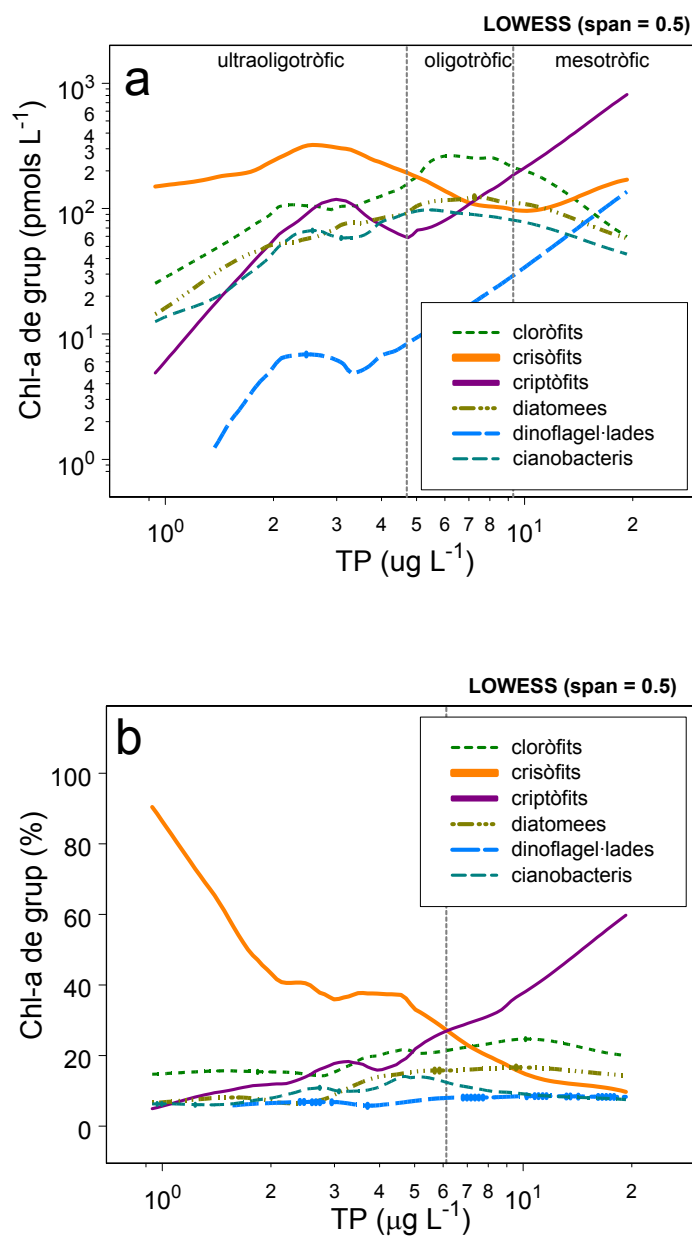


Figura 4.12. Canvi en la composició taxonòmica de grups algal en valors absoluts (a), i relatius (b), al llarg del gradient en la concentració de fòsfor. En (a) les línies discontinúes verticals indiquen els valors de fòsfor que classifiquen els estanys segons l'estat tròfic (OECD, 1982). En (b) la línia discontinua vertical correspon a un valor de 6.12 $\mu\text{g TP L}^{-1}$ (0.2 $\mu\text{mol TP L}^{-1}$).

La presència de crisòfits en sistemes pobres en fòsfor es creu que es deu a l'habilitat que presenta el grup per extreure l'element de concentracions molts diluïdes a taxes elevades. Aquesta habilitat vindria donada pel fet de presentar coeficients de semi-saturació (K_s) per a l'assimilació de fosfat extremadament baixos el que suposaria una avantatge per créixer respecte les espècies amb valors de K_s més alts (Lehman, 1976). És a dir, que l'eficiència en l'assimilació de nutrients i de fòsfor en particular, podria explicar la correlació negativa entre la concentració de fòsfor total i l'existència d'una proporció més elevada de crisòfits en els estanys dels Pirineus. Les algues eficients alhora d'assimilar els nutrients assoleixen habitualment taxes de creixement més baixes (Fuhs *et al.*, 1972), de manera que quan les concentracions de nutrients esdevenen més altes les espècies poden ser desplaçades per altres.

Dins el gradient tròfic definit pel primer eix del RDA-6 un aspecte a remarcar era la posició relativa que prenien en l'anàlisi les variables presència/absència de peixos i la densitat de macrozooplàncton. La connexió entre l'augment en la proporció de cloròfits i la densitat de macrozooplàncton podria estar relacionada amb l'efecte que exerceix l'herbivorisme sobre les poblacions de fitoplàncton. En aigües dolces, l'herbivorisme per part del zooplàncton és el major factor de pèrdua pel nanoplankton (Gliwicz, 1977; Porter, 1977) i es creu que compensa l'avantatge que presenten les formes petites pel que fa a competència pels nutrients (O'Brien, 1974). La pressió d'herbivorisme es creu que és un dels factors que pot determinar canvis en la composició de grups algals afavorint la presència de formes que dificultin la depredació, com seria el cas de formes especialment grosses o d'espècies colonials (Lurling i Van Donk, 1999; Lurling i Van Donk, 2000). Dins el grup dels cloròfits, els envolcallis gelatinosos i les parets cel·lulars amb capes gruixudes de cel·lulosa poden fer que fins i tot les formes petites siguin difícils de digerir pel zooplàncton (Porter, 1973). Aquestes característiques els podrien conferir una protecció que els fes menys sensibles a les densitats elevades de zooplàncton. Els cloròfits representen una fase successional més avançada del cicle anual (Felip, 1997), la qual normalment també pot comportar un augment del zooplàncton.

L'efecte indirecte dels depredadors, en aquest cas els peixos, sobre el fitoplàncton passant pels herbívors, es coneix amb el terme de *cascada tròfica* i ha estat descrit en diversos sistemes, tant aquàtics com terrestres, tot i que és en els aquàtics on s'ha vist que l'efecte es manifesta de manera més contundent (p.e. Pace *et al.*, 1999). Les espècies de truites introduïdes als estanys d'alta muntanya dels Pirineus, són espècies oportunistes que depreden principalment sobre preses bentòniques (Catalan *et al.*, 2004). De tota manera, les truites són parcialment planctívores i poden consumir preses plantòniques per sobre un cert rang de mides (Fitzmaurice, 1979). La seva presència en els estanys podria tenir un efecte en el sentit de reduir la densitat de zooplàncton (Knapp *et al.*, 2001), reduint així la pressió d'herbivorisme sobre les poblacions de fitoplàncton i permetent el domini de grups més sensibles a l'herbivorisme com ara els criptòfits.

Els resultats suggereixen que és la combinació entre limitació de recursos i una certa pressió de depredació el que determina la composició de grups algals en els estanys examinats.

El paper dels factors que co-varien amb el calci

La geologia de la conca no afecta de manera directa els grups algals, però determina les característiques de la química de l'aigua en la que viuen. La concentració de calci en l'aigua depèn de la geologia de la conca i segons l'anàlisi tenia influència en la distribució de grups algals.

Cianobacteris i diatomees apareixien associats a estanys amb una concentració de calci més alta, mentre cloròfits es trobaven en l'extrem oposat d'aquest gradient (Figura 4.10). Centrant-se exclusivament en el gradient descrit pel calci, en superposar en un sol gràfic les corbes ajustades per cada grup algal utilitzant el mètode de suavitzat LOWESS (Figura 4.13) s'observava que existia alternança de grups algals en els dos extrems del gradient. Els cloròfits i crisòfits són els grups que dominen a concentracions de calci baixes. La proporció de cianobacteris augmentava a partir de concentracions de calci de $100 \mu\text{eqL}^{-1}$ fins esdevenir el grup dominant en els estanys més calcaris. També és en aquests estanys més calcaris quan són més abundants les diatomees, tot i que en relació als altres grups no ho siguin especialment. Durant l'estiu, les diatomees són un grup del plàncton en general poc rellevant en els estanys d'alta muntanya. Hi apareixen més tard en la successió associades al període de barreja de tardor (Catalan *et al.*, 2002). Aquest fet podria explicar el poc senyal de pigments que s'ha trobat d'aquest grup i que la relació que semblen presentar amb el gradient de calci pugui ser casual.

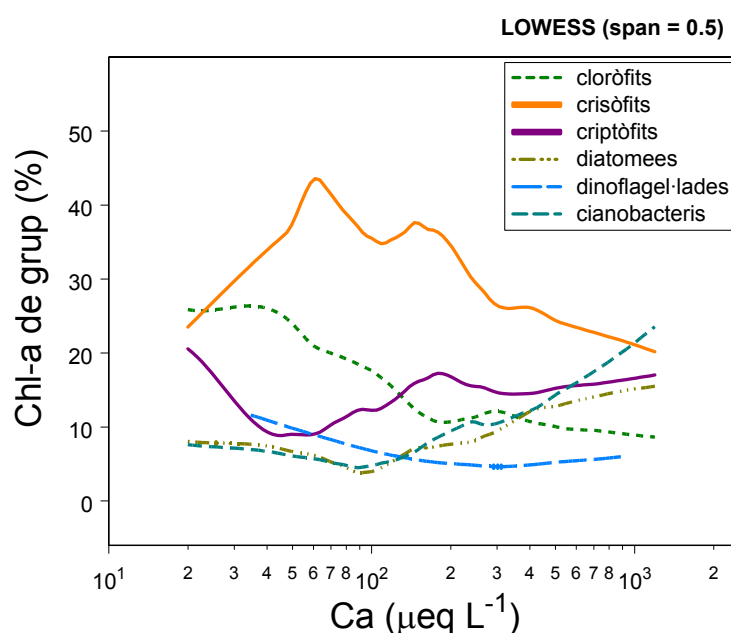


Figura 4.13. Canvi en la composició taxonòmica de grups algals en valors relatius al llarg del gradient en la concentració de calci.

Una possible explicació a la relació entre la dominància de cianobacteris i la concentració de calci la podrien donar els factors que co-varien amb el calci i no el fet en sí que els cianobacteris presentin requeriments de calci determinats. El calci ocupa un paper central en el sistema pH-diòxid de carboni-bicarbonat en aigües dolces, de manera que influencia el subministrament de carboni disponible fotosintèticament i la capacitat de l'aigua per tamponar les fluctuacions de pH. Els dos mecanismes juguen un paper important alhora de controlar l'activitat fotosintètica del fitoplàncton i potencialment la composició d'espècies (Talling, 1976). Sembla ser que algunes espècies de cianobacteris presenten coeficients de semi-saturació per a l'assimilació de carboni especialment baixos en comparació per exemple als que presenten cloròfits (Shapiro, 1973; Shapiro, 1990). Aquest fet podria donar als cianobacteris un cert avantatge enfront altres grups per créixer a pH més alcalí, és a dir quan l'equilibri diòxid de carboni-bicarbonat-carbonat es troba desplaçat cap a una major concentració del ió carbonat i les altres dues formes assimilables pels organismes fotosintetitzadors es troben en menor proporció (King, 1970; Shapiro, 1984).